VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

КЛАССИКИ НАУКИ



Д. Н. ПРЯНИШНИКОВ

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

ИЗДАНИЕ ПОДГОТОВИЛИ:
А. Н. КУЛЮКИН, А. В. СОКОЛОВ,
Д. В. ФЕДОРОВСКИЙ, Ф. А. ЮДИН,
при участии
В. Д. ПРЯНИШНИКОВОЙ-ФЕДОРОВСКОЙ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1976

УДК 63:54:816

СЕРИЯ «КЛАССИКИ НАУКИ»

Серия основана академиком *С. И. Вавиловым*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. П. Виноградов (председатель), *Б. Н. Делоне, Н. М. Жаворонков, А. А. Имшенецкий, С. П. Капица, Б. М. Кедров, А. Н. Колмогоров, Б. В. Кукаркин, С. Р. Микулинский, Ф. А. Петровский, Л. С. Полак, Я. А. Смородинский, Н. А. Фигуровский, А. Н. Фрумкин, Р. В. Хохлов, И. И. Шафрановский, А. Л. Яншин*

Ответственный редактор
член-корреспондент АН СССР
А. В. СОКОЛОВ

Д. Н. Прянишников. **Избранные труды.** М., «Наука», 1976 г., стр. 1—591.

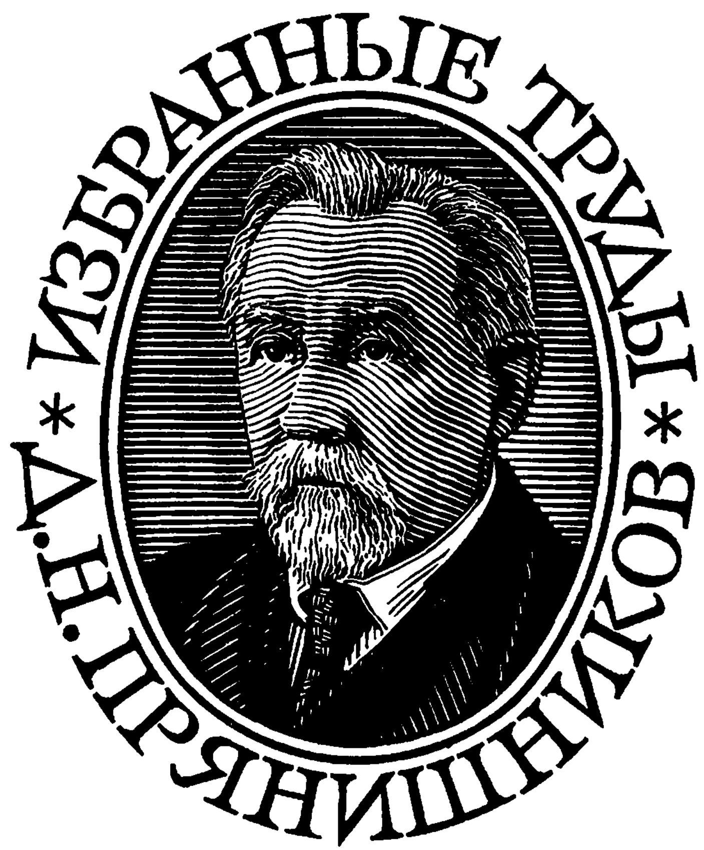
В избранные труды Д. Н. Прянишникова вошли научные работы, лекции и статьи, охватывающие обширный круг вопросов агрохимии и земледелия.

В книге представлен ряд фундаментальных статей, охватывающпх узловые вопросы земледелия: севообороты, задачи в области производства минеральных удобрений, дано научное обоснование применения удобрений по почвенно-климатическим зонам СССР и разработана система мероприятий по подъему земледелия в нечерноземной полосе.

Книга представляет интерес для широкого круга читателей — научных работников, агрономов-производственников, преподавателей и аспирантов, а также для студентов старших курсов сельскохозяйственных вузов.

П $\frac{40306-204}{055(02)-76}$ 661—76

© Издательство «Наука», 1976 г


ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ * Д. Н. ПРЯНИШНИКОВ *

АЗОТНОЕ ПИТАНИЕ И АЗОТНОЕ УДОБРЕНИЕ[1]

АЗОТ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ И В ЗЕМЛЕДЕЛИИ СССР *

«Seulement par ce que la science n'est
sûre de rien, elle avance toujours»

Ducloux **

Часть I

ОБ ИСТОЧНИКАХ АЗОТА РАСТЕНИЙ

Свыше 50 лет тому назад Климент Аркадьевич Тимирязев выступил с публичной лекцией «Источники азота растений» (это было в декабре 1890 г.). Вот первые слова этой лекции: «Немного найдется явлений, где бы так ясно определилась взаимная роль теории и практики, как в тех исследованиях, в которых научные вопросы о происхождении азота у растений неразрывно сливались с чисто практическими вопросами о пользе возделывания клевера и вообще бобовых». Это положение Климента Аркадьевича за последующие полстолетия не только подтвердилось, но и расширилось. Успехи теоретической химии реализовались в развитии азотной промышленности, «биологический азот» сомкнулся с «азотом техническим». Я надеюсь, что мне удалось в настоящей работе на основе нового материала развить и дополнить основную мысль К. А. Тимирязева.

Известно, что главную массу растительных и животных организмов образуют четыре органогена, к которым не раз ботаники применяли известное четверостишие Шиллера:

«Vier Elemente
Innig gesellt
Bilden das Leben,
Bauen die Welt» 3*

---

* Печатается по тексту, опубликованному в монографии «Азот в жизни растений и в земледелии СССР». Изд. АН СССР, 1945.

** [«Только потому, что наука ни в чем не уверена – она всегда движется вперед». Дюкло].

3* [В переводе А. С. Пушкина:

«Силы четыре
Соединясь,
Жизнь образуют,
Мир создают»]

Однако если все они равно необходимы и равноценны с точки зрения физиологии, то практически в земледелии эти элементы встречают весьма разное к себе отношение, и по понятной причине: в то время как кислород воздуха, углекислота и вода, также приходящая из воздуха, доступны всем растениям, азот воздуха непосредственно высшим растениям совершенно недоступен, они должны искать его в почве. Но в то же время земная кора не есть первичное местонахождение азота — его в ней мало, в большинстве почв азот находится в минимуме (таковы подзолистые почвы, занимающие наибольшую часть площади в Западной Европе и у нас). Главная же масса азота находится в воздухе. Но атомы в молекуле азота так прочно связаны, что расшатать эту связь удается лишь при очень высоких температурах, на холоду же ни кислород, ни водород с азотом не реагируют, по крайней мере в руках химика. Правда, есть случай, когда реакция идет на холоду: литий способен расшатать эту молекулу и соединиться с азотом: $N{\equiv}N+6Li=2NLi_3$. Но этот случай может быть интересен для технолога, но не для физиолога; для природных условий жизни растений этот процесс не имеет значения.

В природе мы имеем только два случая связывания азота. Это электрический разряд (молния) и процессы, характерные для некоторых микроорганизмов. Но на ударах молнии урожаев не построишь, а путь к азоту воздуха через микроорганизмы долго не был известен, и еще дольше не были известны пути технического использования азота воздуха.

Поэтому в период, когда Гельригель и Габер еще не проложили этих путей, наличность огромного воздушного океана, почти на $^4/_5$ состоящего из азота, при одновременном азотном голоде в почве, поражала ищущие умы избранных представителей агрономии. Какой тоской по азоту, какой жаждой найти мостик к его использованию звучат слова ставшего впоследствии известным Шульца из Люпица («Wüstenei Lupitz» — волчья пустошь), этого студента либиховских времен, заочного ученика и ревностного последователя Либиха, который, получив в наследство вересковые заросли, начал распахивать и удобрять их калием и фосфором и ждал, что азот (по Либиху) придет из воздуха [4*]. Но азот не приходил, задолженность имения возрастала, пока тонкий наблюдатель Шульц не подметил еще до открытия Гельригеля, что «волчью пустошь» способны оплодотворять волчьи бобы — люпины [5*], тогда сложилась у него своего рода «Песнь об азоте», хотя и написанная прозой: «Если не говорить о воде, то именно азот является самым могущественным двигателем в процессах развития, роста и творчества природы. Его уловить, им овла-

---

[4*] При этом Либих имел в виду не свободный азот воздуха, а примесь углекислого аммония; однако содержание последнего в воздухе оказалось настолько незначительным, что оно не может влиять на высоту урожая.

[5*] От латинского слова lupus — волк.

деть — вот в чем задача, его сберечь — вот в чем ключ к экономике; подчинить себе его источник, бьющий с неистощимой энергией,— вот в чем тайна благосостояния».

Из истории вопроса об азоте

Ряд противоположностей связан со словом «азот»: с одной стороны — это «нежизненный газ», а с другой стороны — нет жизни без азота, ибо он является непременной составной частью белков; азот дает соединения то окисленные, то восстановленные, то кислотного, то щелочного характера, причем, в отличие от других элементов, играет роль в жизни растения способность использовать в процессах синтеза разные степени окисления и восстановления, как азотная, азотистая и азотноватая кислоты, аммиак и гидроксиламин, а у низших организмов — и свободный азот. С экономической стороны также азот является то самым дорогим элементом, если речь идет о минеральных удобрениях, то самым дешевым, если иметь в виду использование азота бобовых.

Историю вопроса об азоте нужно начинать, конечно, не с Шульца, а с Буссенго, но и это будет правильно лишь в том случае, если говорить о периоде настоящей химии, начало которой положил Лавуазье.

Но на деле вопрос этот возник еще задолго до Лавуазье, во времена алхимии и иатрохимии, хотя терминология в то время была совершенно иная: речь шла обычно о «воздушном начале селитры». Предполагалось, что «зародыши селитры» (germes, oeufs) носятся в воздухе, но только в почве происходит «инкубация» и развитие зародышей и рождается драгоценная соль («соль земли») [6*].

Уже Альберт Великий (XIII столетие) в своем трактате «De mirabilibus mundi» («О чудесах света») говорит о селитре [7*].

У авторов XIV века встречаются рецепты для очищения селитры как компонента пороха (Godex Germanicus, 1350), а затем ею начинают интересоваться как «солью плодородия». В 1540 г. во Франции был запрещен вывоз селитры за границу, ее нужно было сдавать государству, а в 1544 г. был издан эдикт о создании 300 пунктов по добыванию селитры. Для того же времени имеется указание, что голландские корабли привозили селитру из Индии. Путешественники сообщали, что селитра обра-

---

[6*] Напомним, что и позднее (в первой половине XIX столетия), когда азот стал известен как главная составная часть воздуха, существовало мнение, что селитра образуется за счет газообразного азота благодаря тому, что почва, как пористое тело, способствует окислению азота кислородом воздуха и образующиеся окислы азота связываются кальцием почвы. Это мнение было опровергнуто Буссенго, который показал, что накопление нитратов в почве не связано с фиксацией азота воздуха.

[7*] Селитре (nitrum) приписывалась важная роль в таинственном процессе получения философского камня (Парацельс).

зуется в природных условиях не только в Индии, но в Америке, в Китае и даже в Испании. В 1563 г. появился трактат Бернара Палисси[8*] о значении солей в земледелии «Les sels végétatifs» — [способствующие росту соли], где он ставит плодородие почвы в зависимость от содержания в ней известных солей и говорит, что «навоз был бы бесполезен, если бы не содержал «соли», которая остается после разложения соломы и сена», а затем один из слушателей его лекций в Париже[9*] говорит еще более определенно, что навоз содержит «соль мочи» и что повышение плодородия почвы зависит от образования в ней «sucs nitreux» или «la salure de nitre» — [соки селитры или соль (суть) селитры][10*]. Он не раз повторял тезис Палисси, что для почвы «соль есть отец плодородия», но у него яснее, чем у Палисси, видно, какой именно соли придается главное значение. Но наиболее замечательными являются в XVII веке мысли о значении азота в жизни растений и о круговороте азота в природе, высказанные Иоганном Рудольфом Глаубером.

Правда, пока он не употребляет название «азот», он говорит: nitrum. Трудно сказать, как следует перевести это слово, но это не селитра; он нередко говорит отдельно о селитре и отдельно о nitrum. Я бы сказал, пользуясь терминологией «Синей птицы», что nitrum — это «душа селитры», это предчувствие существования азота. При переводе на современный язык можно было бы сказать, что nitrum у Глаубера иногда означает «азот», а иногда «ион NO_3».

В своем труде «Teutschlands Wohlfaht» — «Благо Германии» (1656) он говорит: «Sal et nitrum est unica vegetatio, generatio omnium vegetabilium animalium, mineralium», что буквально перевести трудно, но в модернизированном изложении это близко к утверждению, что зольные вещества (соли) и азот (или «душа селитры») представляют единственную причину роста растений, если говорить только о почве. Характерно следующее место у Глаубера: «Вероятно, вся селитра (или «начало селит-

---

8* Бернар Палисси — даровитый самоучка, первоначально рабочий-гончар, затем химик-эмпирик, составитель эмалей для севрского фарфора, живописец, скульптор, путешественник, топограф и геолог — в старости читал лекции при королевском дворе для избранных слушателей — врачей и пр., но затем был присужден инквизицией к смертной казни (это было в эпоху борьбы католической церкви с гугенотами) и был спасен только благодаря вмешательству королевы-матери. Характерен его гордый ответ королю, пришедшему к нему в тюрьму, чтобы убедить примириться с церковью. См. о Палисси в книге Фигье «Жизнь замечательных людей», а также у Грандо (Grandeau. Chimie appliquée á l'agriculture. Paris, 1879).

9* Это был Gui de Brosse, врач Людовика XIII, впоследствии (в 1621 г.) написавший книгу о природе растения, один из отделов которой носит заглавие «De la manière de vivre des plantes et de leur nourriture» (О жизни растений и об их питании), но, наряду со здравыми рассуждениями о значении селитры и других солей в почве, в этой книге встречаются совершенно фантастические утверждения относительно происхождения углеводов в растении («Le manne»).

10* Наше слово «селитра» включает в себя в скрытой форме nitrum — оно происходит от латинского sal nitri, по-испански — salitra, затем sal переходит в sel (франц.).

ры»), которой мы пользуемся, происходит из растений». Указывая, что селитра образуется на стенах конюшен и скотных дворов, он ставит вопрос: как она образуется? Очевидно, за счет мочи и экскрементов животных. Но они происходят из пищи животных, из травы или сена, словом, из растительных материалов. Следовательно, эти последние содержат «начало селитры», а органы пищеварения только подготовляют его отщепление. Глаубер отмечает, что селитра образуется и без участия экскрементов, если смешивать с землей листья и другие материалы растительного или животного происхождения, и указывает, что это может быть использовано для промышленного добывания селитры. Дальше он говорит, что селитру (nitrum) можно посеять, как полевые культуры, и малым количеством фермента заразить громадное количество земли, которая не замедлит покрыться селитрой, «подобно тому, как небольшое количество пивных дрожжей может вызвать брожение громадного количества теста». Таким образом, у него есть уже понятие о каком-то сходстве процесса образования селитры с брожением.

У Глаубера были некоторые представления о круговороте связанного азота. Он говорил, что «начало селитры» (nitrum) поднимается из глубин земли в царство воздуха, откуда возвращается «насыщенным астральными влияниями и растворенным в воде дождя, снега и росы, чтобы дать плодородие почве».

Дальше Глаубер так говорит о «начале селитры»: «Это как бы птичка без крыльев, которая летает день и ночь без отдыха, она проникает между всеми элементами и несет с собой дух жизни. От nitrum происходят минералы, растения и животные. Это начало никогда не погибает, оно меняет только форму; когда входит в тело животных под видом пищи, оно выходит оттуда в экскрементах и таким образом возвращается в землю, чтобы оттуда подняться частично в воздух с парами и выделениями, и вот оно снова среди элементов. Оно существует в корнях растений, и вот оно снова в пищевых веществах. Таким образом, круговорот идет от элементов в пищевые вещества, из пищи — в экскременты и оттуда снова в элементы».

Глаубер советует давать селитру корням винограда, советует смачивать посевное зерно раствором селитры, чтобы увеличить урожаи. Свой гимн «началу селитры» Глаубер заканчивает тем, что наряду с другими эпитетами и сравнениями он ставит вопрос: может быть, это и есть «азот», о котором пишут философы? Но как могло быть известно Глауберу слово «азот»? Обычно считают, что это слово ведет начало от Лавуазье и образовано из греческого слова ςοω (живу) и отрицания α (alpha privatiwum). На деле же это слово гораздо старше — оно встречается у алхимиков, хотя и в другом смысле.

Откуда же взялось это слово, которым пользовались алхимики? Оно искусственно построено так: «альфа» — первая буква всех тогдашних алфавитов, на которых писались научные произведения (греческого, латинского и еврейского), «зет» — последняя буква латинского алфавита, «оме-

га» — греческого и «тов» — последняя буква еврейского алфавита. Из сочетания этих букв и получается слово «Azot». Это вариант на мотив из Апокалипсиса: «Аз есмь альфа и омега, начало и конец»; словом «азот» обозначали то неизвестное «начало всех начал», то философский камень, этот чудодейственный «фермент», способный превращать металлы в золото [11*], то вообще какой-то таинственный ключ красоты, здоровья и богатства.

Поэтому когда Глаубер говорил, что «душа селитры» и есть «азот философов», то это, конечно, нельзя понимать так, что Глаубер имел в виду азот в понимании Лавуазье; это было только фигуральное сравнение, употребленное для того, чтобы подчеркнуть все значение «начала селитры»; однако можно думать, что и Лавуазье знал об «азоте философов» и только вложил в это слово конкретный смысл.

Нужно заметить, что в XVII веке Глаубер не был единственным автором, говорившим о значении селитры. В 1621 г. вышло сочинение врача при Людовике XIII Ги де Бросс «О природе, свойствах и пользе растений» (Gui de Brosse. «De la nature, de la vertu et de l'utilité des plantes»). В этой книге наряду с неопределенными утверждениями, что пищей растений являются соль, масло и «spiritus» [12*], местами говорится о «нитрозных соках» почвы (les sucs nitreux), и выражение «соль земли» у него включает представление о селитре («навоз содержит соль мочи»).

В другом месте: «Земля без соли бесполезна для плодоношения, или, вернее, соль — это отец плодородия».

Некий доктор Стубс сообщил в Лондонском королевском обществе в 1668 г. о своих наблюдениях на острове Ямайке, что на землях, содержащих селитру («les terres nitreuses» — во французском переводе), сахарный тростник растет пышнее, чем на других, что табак, выросший на таких землях, при курении издает треск; попутно он отмечает, что растения, насыщенные селитрой, плохо хранятся и легко загнивают.

Очень давно еще у алхимиков существовала идея о «воздушном начале селитры» (le nitre aérien).

В 1660—1669 гг. различные авторы (Digby, Hengshaw, Beal) говорили о присутствии начала селитры в росе и рекомендовали намачивать семена в растворе селитры. Фрэнсис Бэкон уделял немало внимания селитре, и в своем трактате «Silva silvarum» (1626) он также называет селитру «солью плодородия»; и у него было понимание, что некоторая «субтильная часть селитры» становится существенной составной частью растения.

11* «Sicut fermentum pastae vincit pastam et ad se convertit semper, sic et his lapis philosophorum habet convertere plurimas partes metallorum ad se et non converti» (Petrus Bonus de Ferrara, 1330; цит. по: Schultzenberger. Les fermentations).— [«Как закваска связывает тесто и всегда остается сама собой, так и философский камень может превращать большую часть металлов и сам не изменяться»].

12* «Spiritus» — дух, душа, дыхание; здесь — воздух.

К той же эпохе относятся весьма интересные высказывания Мэйоу, автора «Tractatus quinque medico-physici, quarum primus agit de sal-nitro et spiritu nitro-aereo» (1671) — [«Пять трактатов медико-физических, в первом из которых говорится о соли селитры и воздушной селитре»]. Мэйоу первый высказал определенное утверждение, что селитра состоит из кислоты и щелочи, что воздух участвует в ее образовании, давая летучую ее часть, но земля тоже тут участвует, давая нелетучую щелочь (le sel fixe alcali — соль связывает щелочь), Мэйоу изучал образование селитры в почве и показал, что ее содержится больше весной, при начале вегетации, а затем количество ее уменьшается, так как растения ее поглощают.

Роберт Бойль (1626—1691), известный химик и физик, основатель Лондонского королевского общества, посвящает селитре специальные мемуары: «A fundamental experiment made with nitre» — [Основательный опыт, проведенный с селитрой], в которых говорит, что селитра состоит из двух начал: кислотного, которое летуче и представляет род «минерального уксуса», и другого — нелетучего, щелочной природы. В те же годы в Германии члены Академии любителей природы (Academia Naturae Curisorum) немало занимались селитрой, и Балдвинус (Baldwinus) писал, между прочим: «Навоз полон началом селитры». Барбье (Barbier) в 1681 г. написал мемуары под заглавием «Spiritus nitro-aereo operationes in microcosmo» — [Деятельность воздушной селитры в микрокосме]. Джиованни (Giovanni) в 1685 г. представил диссертацию «О брожении, о воздухе и о селитре»; Регис в своей «Физике» (Regis, 1691) говорит о распространенности селитры в почве, и, наконец, Шталь (Stahl) в 1698 г. уделил распространению селитры большое внимание в своем небольшом сообщении «Opusculum chimicum»; он также говорит, что неправильно считать селитру происходящей только из земли или только из воздуха, но нужно допустить участие того и другого.

Итак, задолго до Лавуазье сложилось представление не только о значении «начала селитры» в жизни растений, но и об атмосферном происхождении этого начала.

Когда Пристлей открыл, что воздух состоит из кислорода и какого-то остатка, не поддерживающего горение, то он сначала назвал этот остаток «флогистонированным воздухом». Однако Лавуазье показал, что этот газ содержится как таковой в атмосфере, а не образуется при горении, причем главное внимание привлекла неспособность этого газа поддерживать дыхание и горение; отсюда первоначальное выражение Лавуазье «mofette, atmospherique», т. е. миазмы, или удушливые газы, воздуха. Никакой связи с «воздушным началом селитры» тогда не было установлено, на первое место выступало противоположение этого газа кислороду в отношении процессов дыхания и горения; но в 1783 г. Кавендиш показал, что при пропускании электрической искры через воздух этот газ соединяется с кислородом и дает окислы азота, что привело к названию nitrogène (так, в сущности, найден был мостик от «нежизненного»

азота к дающей жизнь растениям селитре). С другой стороны, Бертоле вскоре нашел, что тот же элемент входит в состав «alcali volatil», т. е. аммиака (а следовательно, и в состав ряда веществ животного происхождения), поэтому Фуркруа предложил термин «alcaligène». Но в 1787 г. комиссия по химической терминологии, состоявшая из Лавуазье, Бертоле, Фуркруа и де Морво, предпочла вместо положительной характеристики нового газа отметить отрицательные его свойства и назвала его «нежизненным газом» или азотом (Azote), производя это слово от греческого слова zoo — живу и объясняя приставку α как отрицание (в греческом языке, действительно, применяется так называемое alpha privativum). Но нужно заметить, что законность такого словообразования вызывает сомнения, так как буквы t совсем нет в конце слова zoo, от него происходит слово zoé — жизнь, которое образовано без участия буквы t; то же относится к комбинированным терминам, как зоология, зоотехния и пр.

Слово «азот» взято было, конечно, от алхимиков [13*], но была сделана попытка вложить в него иной смысл.

Своеобразно, что азот, получивший от Лавуазье название нежизненного газа, не сразу занял место «души селитры» Глаубера, которая из элементов переходит в растения, из них — в тела животных и через экскременты возвращается снова в «мир элементов» (т. е. неорганическую природу). О роли «души селитры» в жизни растений и животных как будто иногда совсем забывали.

По крайней мере в биографии Буссенго, написанной Дегереном [14*], приводится рассказ о том, как один путешественник наблюдал, что когда поток лавы достиг луга, покрытого пышной травой, то почувствовался ясный запах аммиака, распространившегося в воздухе, и причина этого явления ему была неизвестна. Когда путешественник обратился к Бунзену за объяснением этого факта, Бунзен ответил, что этот аммиак должен был получиться при действии расплавленной лавы на траву, так как «Буссенго недавно показал, что растения содержат азот».

Этот рассказ звучит несколько странно, так как известный химик Дэви, знаменитый в истории химии прежде всего благодаря открытию металлического калия, в своих лекциях по агрономической химии (1812) с ясностью говорит об азоте как важнейшей составной части расте-

---

[13*] Это видно из следующих строк, взятых из статьи «La chimie», написанной de Morveau в 1786 г.: «On a remarqué, que suivant le Dictionnaire de Trevoux, azote signifiait la matière première des métaux, le mercure des philosophes; on aurait pu citer aussi Paracelse que se sert réelement des mots azot et azoth...» (Encyclopédie méthodique, I, p. 641, 1786) — [Было замечено, что, судя по словарю Треву, слово «азот» означало первичное вещество металлов, как и «меркурий» философов; можно было бы цитировать также Парацельса, который, действительно, пользовался словом «азот». (Методическая энциклопедия, т. I, стр. 641, 1786)].

[14*] Приложение к т. VIII собрания сочинений Буссенго (Agronomie, chimie agricole et physiologie).

ния[15*]; ему было известно особенное богатство азотом бобовых, и он даже высказывал предположение, что бобовые заимствуют азот из воздуха. Но немногие физиологические опыты Дэви были грубо примитивны[16*].

Поэтому если оставить в стороне эпоху алхимии и период Глаубера, то историю строго экспериментального изучения вопроса об азоте растений приходится все-таки начинать не с Дэви, а с Буссенго, который даже в большей мере, чем Либих, имеет право считаться основателем современной агрохимии; он раньше Либиха отверг господствовавшее тогда учение Тэера и, зная, что источником углерода в растениях является углекислота атмосферы, поступающая через листья, в области взаимоотношения между растениями и почвой вместо гумусовой теории выставил теорию азотного питания растений и поставил азотистые удобрения на первое место по воздействию на урожай растений («Les engrais les plus puissants sont ceux qui contiennent le plus d'azote», 1837) — [Наиболее сильно действуют те удобрения, которые содержат в себе больше всего азота].

О формах соединений азота, доступных растениям

Когда ставится вопрос о значении связанного азота для растений, то тотчас же возникает и другая сторона того же вопроса, именно *о формах* соединений азота, доступных растениям. Дело в следующем: в то время как для серы и фосфора мы имеем определенное решение, что растению нужна только известная степень окисления (серная кислота, фосфорная

15* Кроме того, заслуживает упоминания, что в 1804 г., в Париже, в одном из заседаний Академии наук, был заслушан доклад Леблана на тему: «Sur les substances ammoniaquales considérèes principalement comme matières végétatives» (G r a n d e a u. Chimie et physiologie appliquées à l'agriculture. Paris, 1879, p. 60—62).

16* Дэви правильно отмечает, что на растительность оказывают хорошее действие растворы селитры, хлористого аммония, калия хлористого и углекислого; наибольшее же действие оказывает углекислый аммоний. «Естественно было,— говорит Дэви,— ожидать этого результата, так как соль, о которой идет речь, содержит углерод, водород, азот и кислород».

Сам опыт по действию углекислого аммония на растительность был поставлен в 1808 г. таким образом: реторта наполнялась разлагающимся навозом и газы, выделяющиеся при разложении навоза, подводились к корневой системе злаков, образующих дернину; меньше чем через неделю стал заметен результат этого опыта: рост травы стал необычайно сильным и представлял контраст с развитием растений, не получивших газов, выделявшихся из реторты.

Некоторые очень верные утверждения встречаются у Соссюра (1804 г.), например: «Превосходство удобрений животного происхождения над растительными материалами, по-видимому, зависит только от большего содержания азота в первых». Но позднее Соссюр не был последовательным и в 1842 г. утверждал, что главная роль аммиака не в прямом питании растения, а в растворении почвенного гумуса, который содержит азот (Bibliothèque universelle de Genève, 1842; цит. по: G r a n d e a u. Chimie et physiologie, 1879, I, p. 496).

и притом ортофосфорная кислота), в случае азота, как мы увидим ниже, приходится ставить вопрос о целой цепи соединений, начиная от наиболее восстановленных и кончая наиболее окисленными; причем в известных случаях и свободный азот не может быть исключен из этого списка.

Вопрос о формах соединений азота, доступных растениям, проходил через разные фазы, и здесь намечается нечто вроде гегелевской триады, т. е. при известной схематизации можно различить три стадии: тезис, антитезис и синтез противоположных воззрений. На самом деле грань между этими стадиями (особенно между антитезисом и синтезом) не может быть резко проведена, часто обе мелодии слышны одновременно в общем хоре, но для удобства обозрения такая схема может быть полезна.

Исходным тезисом было положение — источником азота растений является аммиак; из этого исходили и Буссенго, и Либих. Буссенго считал, что экскременты животных и другие органические вещества прежде всего потому являются удобрениями, что при их разложении образуется аммиак. Как сложились эти взгляды у Буссенго? Буссенго известен своими строгими опытами по источникам азота растений в стерильном песке, но, прежде чем он стал ставить опыты в песчаных культурах в Европе, он видел своеобразные «песчаные культуры» в земледелии Южной Америки, где в молодости провел несколько лет, наблюдая и изучая природные явления (устраивая лаборатории даже в кратере вулкана) и своеобразные приемы земледелия туземцев. На побережье Перу ему пришлось видеть, как бесплодные пески превращаются в плодородные поля, дающие обильные урожаи кукурузы, и это превращение происходит благодаря применению гуано в качестве удобрения.

Буссенго произвел анализ гуано и нашел, что оно представляет собой очень богатое азотом удобрение, содержащее частью готовые аммиачные соли (щавелевокислый аммоний), частью вещества, легко дающие аммиак при разложении (мочевая кислота и пр.) [17*]. Вот что дало толчок и первое направление мыслям Буссенго об источниках азота растений.

Либих также приписывал аммиаку главную роль в питании растений азотом, при этом, кроме образования аммиака при разложении выделений животного организма, он приписывал большое значение присутствию углекислого аммония в воздухе, правда, в очень небольших количествах, но при громадности и подвижности воздушных масс все же, по мнению Либиха, этот аммиак должен играть большую роль в питании растений. Какое-то чутье заставляло Либиха искать источники азота в атмосфере, и он думал, что многолетние кормовые травы, раньше начинающие вегетацию весной и позднее оканчивающие ее осенью, больше улавливают аммиака из воздуха, чем хлеба.

[17*] Залежи гуано образовались благодаря тому, что в бездорожных местностях экскременты птиц, питающихся рыбой, т. е. богатой азотистыми веществами пищей, накоплялись столетиями.

Господство первоначального тезиса об аммиаке как основном источнике азота растений было настолько велико, что когда первый транспорт чилийской селитры прибыл в Гамбург, то для нее не нашлось покупателя — пришлось селитру выбросить в море. Так поступили в XIX веке с селитрой, которой в XVII веке такие гимны пел Глаубер, видя в ней воплощение «азота философов».

Характерно, что при первых опытах с песчаными культурами (Вигманн, Польсторф, 1842) в качестве источника азота был введен гуминовокислый аммоний. Точно так же и при первых полевых опытах в Ротамстеде (1843) фигурировал сернокислый аммоний, а не селитра. Когда же селитра проникла все-таки в практику сельского хозяйства и дала превосходные результаты, то Кюльман, современник Либиха и Буссенго, придумал такое объяснение: селитра потому действует на растения, что под влиянием органических веществ почвы происходит восстановление селитры до аммиака. Так сильно было влияние господствующего тезиса. Но когда в 1846 г. Сальм-Горстмар, пытаясь создать нормальную смесь для песчаных культур, перешел от NH_4NO_3 к $NaNO_3$, то он обнаружил, что́ было для него неожиданно, что растения могут обходиться и без аммиака — питаться одной селитрой. К 50-м годам XIX века относятся известные опыты с селитрой, проведенные Буссенго (о них говорится во всех учебниках физиологии растений), который отметил противоречие объяснений Кюльмана с данными Сальм-Горстмара и поставил опыты в прокаленном песке с возрастающими дозами селитры, начиная от нуля. Урожай подсолнечника возрастал (в пределах опыта) пропорционально внесенному количеству селитры. Так была доказана прямая возможность питания растений селитрой, а одновременно было показано, что пресловутый углекислый аммиак воздуха ни на йоту не помогает избегнуть азотного голодания тем растениям, которые не получили связанного азота.

Так Буссенго как бы приближался к стадии синтеза (т. е. к допущению усвояемости как аммиачного, так и нитратного азота), но следующее обстоятельство вдруг вызвало резкий крен в сторону антитезиса, особенно в Германии: когда появился метод водных культур (конец 50-х и начало 60-х годов XIX в.), то наблюдался ряд неудач при попытках вводить аммиак в качестве источника азота. В питательную смесь вводили не NH_4HCO_3, о котором говорил Либих, и не гуминовокислый аммоний, как делали Вигманн и Польсторф, а NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$, не принимая никаких мер к регулированию реакции среды. При этом, конечно, растения страдали, а иногда и совсем погибали от остаточных кислот (HCl и H_2SO_4), что было правильно подмечено Раутенбергом (1863) [18*]. Однако не было сделано правильного логического вывода о физиологической кислотности вводимых солей; вместо этого пришли к выводу, будто аммоний как таковой не годится для питания растений, а годятся только нитраты.

[18*] Rautenberg, Kühne. Landwirtschaftl. Versuchs Stationen, VI, p. 355.

Правда, была сделана попытка (но в неудачной форме) исключить сильные кислоты, а именно Бейер в 1867 г. поставил опыты с углекислым аммонием, но не с бикарбонатом, и, конечно, у него растения сильно страдали от щелочности, и только во второй половине опыта, когда наблюдалось появление нитратов, растения ожили. В этом Бейер увидел подтверждение положения, что аммиак сам по себе не может быть источником азота для растений, однако это был типичный случай логической ошибки (cum hoc ergo propter hoc!), потому что на деле причина лежит в другом — в смягчении щелочности раствора благодаря улетучиванию части аммиака при продувании культур, а затем и благодаря наступившей нитрификации. Так между Сциллой и Харибдой терпели крушение попытки того времени найти условия, при которых растения могли бы питаться аммиаком без превращения его азота в нитратную форму, и все более расширялось господство антитезиса. На этом фоне остался незамеченным (или недооцененным) единственный успешный опыт того времени, в котором аммиак заведомо усваивался без участия нитрификации, но это был опыт внекорневого питания аммиаком, питания через листья, наподобие того как Гри (Cris) за 30 лет до этого через листья давал хлоротическим растениям железо. Мы имеем в виду классический опыт известного агрохимика и физиолога Адольфа Майера (1874), при котором корневые системы двух сравниваемых растений находились в общем сосуде, а надземные части и того и другого растения развивались каждая в своей изолированной среде — под стеклянными колпаками, причем под одним из них находился стаканчик с раствором углекислого аммония, другое же растение (контрольное) аммиака не получало. Результат был очень ясный: первое растение развивалось лучше и содержало больше азота, а так как корни у них питались одним и тем же раствором (без азота), то ясно, что накопление азота в первом случае происходило благодаря усвоению аммиака листьями [19*].

[19*] Эта остроумная постановка опыта устранила все сомнения, которые вызывались опытами предшественников А. Майера. Первым в этот период начал опыты по действию углекислого аммиака на растения агрохимик Штекгардт (Таранд, 1859), но его опыты мало прибавили к вышеупомянутым опытам Дэви; в 1860 г. ученик и помощник Штекгардта — Сакс, впоследствии известный физиолог, продолжил эти опыты в более совершенной форме, а именно: он выращивал фасоль в песчаных культурах, помещая надземные части растений под стеклянный колпак, причем воздух под колпаком ежедневно обновлялся; при добавлении углекислого аммиака к этому воздуху наблюдались лучший рост растений и повышенное содержание азота в них, например:

	Сухой вес растения (в г)	Общее количество азота (в мг)
1) Воздух+CO_2	4,140	106
2) То же+NH_4HCO_3	6,740	208

Отсюда Сакс сделал вывод, что листья способны усваивать аммиак из окружающего воздуха. Однако оставалось неустраненным следующее возражение: так как по-

Но тогда этот факт не вызвал вопроса: разве может иметь место такое положение, чтобы клетки листьев были способны усваивать аммиак, а клетки корня требовали нитратов?

Господство антитезиса продолжалось, и оно казалось гармонирующим с фактами, указывающими на большое распространение процесса нитрификации в природе.

Еще Буссенго доказал[20*] громадную распространенность нитрификационного процесса в природе. Изучив в этом отношении не только культурные почвы, но и почвы лугов и лесов, он показал, что содержание нитратов в почве не может быть объяснено теми количествами азотистых соединений, которые приносятся с осадками, и что азот воздуха не участвует в нитрификации. А еще в 1823 г. Лонгшан (Longchamps) объяснял образование нитратов в почве прямым окислением азота кислородом; при этом влияние почвы сравнивалось с действием губчатой платины. Буссенго показал, что нитраты образуются в почве не за счет азота

верхность песка не была изолирована от атмосферы, то аммиак мог проникать к корням и через них поступать в растение; следовательно, участие листьев в усвоении аммиака остается недоказанным.

Поэтому Шлезинг во Франции и А. Майер в Германии в 1873—1874 гг. подвергли этот вопрос новой проверке. Шлезинг выращивал растения табака в почве, бедной азотом, вводя углекислый аммоний в атмосферу, окружавшую листья; при этом стеклянный колокол большой емкости, под которым развивались растения, был закреплен замазкой на стеклянной пластине, служившей для изоляции почвы от атмосферы; стебель табачного растения проходил через отверстие в этой пластине, и были приняты меры, чтобы воздух из-под колпака не мог сообщаться с почвенным воздухом. При этих условиях оказывалось, что растение, к листьям которого имел доступ углекислый аммоний, содержало 3,320 г азота, а контрольное растение — 2,460 г; следовательно, 0,820 г азота заимствовано листьями из углекислого аммиака (0,025 г аммиака на 1 куб. м воздуха). Всего дано было 1,093 г азота; следовательно, усвоено было больше 75% азота, данного в виде аммиака. Но в листьях табака аммиак как таковой не накоплялся, он был потреблен на образование белков.

В то время как Шлезинг проводил свои опыты с довольно сложной аппаратурой (особая система насосов для получения искусственной атмосферы определенного состава и пр.), А. Майер, работая с более простой аппаратурой, применил большую строгость в разработке схем опыта, причем завершил свой ряд работ той изящной постановкой, о которой упомянуто в тексте: чтобы устранить всякие сомнения относительно возможности проникновения аммиака к корням того растения, к листьям которого подводился аммиак, А. Майер поместил корни того и другого растения в общий раствор; и только надземные части были изолированы в отдельном колоколе для каждого растения. Так с полной строгостью был применен метод единственного различия, и результат получился совершенно ясный: через 5 недель растения, питавшиеся аммиаком через листья, содержали 4,4% азота в сухом веществе, а контрольные — 1,6%; абсолютное количество азота было в первом случае 28 мг, а во втором — 8 мг (Landwirtschaftl. Versuchs Stationen, XVII, 1874).

Таким образом, этими опытами была вполне доказана способность листьев поглощать аммиак и перерабатывать его в белковые вещества. Но этот результат был получен только при искусственном обогащении атмосферы аммиаком, предположение же Либиха, что растения из атмосферы обычного состава могут поглощать листьями заметные количества азота, не подтвердилось ни для злаковых, ни для бобовых.

[20*] См. Agronomie, chimie agricole et physiologie, t. II.

воздуха [21*], а за счет органического вещества, и что в искусственных смесях нитрификация не наступает, если не внести немного перегнойной земли, не подвергая ее прокаливанию.

Ученики Буссенго и продолжатели его научной работы в области агрохимии — Шлезинг и Мюнц первые установили, что нитрификация является процессом биологическим, изучили влияние различных факторов (температура, кислород воздуха) на развитие нитрификационного процесса и дали первые данные о распространенности нитрифицирующих бактерий [22*]. Так, Мюнц нашел нитрифицирующих бактерий на вершине Фаульгорна, где нет никакой растительности и где они являются, по-видимому, пионерами жизни [23*].

Все это казалось хорошо гармонирующим с господствовавшей догмой о недоступности растениям аммиака как такового и необходимости предварительной нитрификации.

Однако когда стали дальше изучать распространение нитрификационного процесса в природе, то обнаружилось, что в болотных и лесных почвах процесс этот или вовсе не идет, или имеет место в очень малой степени, и все-таки растительность на таких почвах не только существует, но может быть даже обильно развитой. Подобные соображения

[21*] Нужно заметить, что с этой теорией прямого окисления азота воздуха в почве боролся современник Буссенго — Кюльман (Франция); он показал (1838), что азот и кислород при пропускании через нагретую губчатую платину не дают начала окислам азота, но таковые получаются, если вместо азота пропускать аммиак. Кюльман открыл аммиак в водной вытяжке из селитряных буртов и признал аммиак за необходимую промежуточную ступень в процессах нитрификации (подробности см. Grandeau. Chimie et physiologie. 1879, p. 463).

[22*] Мы не останавливаемся здесь подробнее на этой важной серии работ потому, что ее результаты не раз излагались на русском языке, см., например, мою актовую речь в 1906 г. «К истории развития современных воззрений в агрономии» или курс «Учение об удобрении» (1922), а также курс Густавсона «Двадцать лекций по агрономической химии» (1888), переизданной Сельхозгизом в серии «Классики естествознания».

Обстоятельные работы Шлезинга и Мюнца по нитрификации, являющиеся продолжением работ Буссенго, служат одним из многих примеров, когда представители агрономической химии играют роль пионеров, вскрывающих сущность неизвестного еще явления, основной характер того или иного процесса; когда же это выяснено, тогда выступают на сцену представители основных наук, специально изучающие данную дисциплину, изучают явление во всей его чистоте, и тогда оно может описываться в соответственных отделах общей классификации наук. Так, например, Шлезинг и Мюнц подготовили почву для работ Виноградского; Гельригель был пионером в установлении факта симбиоза бобовых с бактериями, но его работы потребовали вмешательства специалистов-микробиологов (Пражмовский, Бейеринк и др.); также в вопросе о метановом брожении начало положили Дегерен и Шлезинг; в вопросе о денитрификации — Дегерен и Гейон (Gayon); то же относится к ряду вопросов по химии почвы (явления поглощения, органическое вещество почвы) и к широкому ряду вопросов по физиологии растений и биохимии.

[23*] Но трудно представить, что может служить источником аммиака в этом случае, кроме небольших его количеств, приносимых осадками.

побудили Мюнца[24*] в 1885—1888 гг. провести опыты с почвой, предварительно лишенной не только нитратов, но и способности к дальнейшей нитрификации аммиака, образующегося в почве. Исходя из факта, что нитрифицирующие бактерии менее стойки к высоким температурам, чем разнообразные организмы, вызывающие процессы аммонификации, Мюнц прибег к так называемой полустерилизации почвы: нагревая сосуды с почвой до 100°, он устранял нитрификаторы. Образование аммиака в такой почве продолжалось, а обычное окисление в азотистую и азотную кислоту отсутствовало. Растения в такой полустерилизованной почве обречены были на питание аммиаком, подобно флоре болотистых и многих лесных почв (перед стерилизацией почвы промывали, чтобы удалить ранее образовавшиеся нитраты). Посев производился стерилизованными семенами, надземные части растений развивались в стеклянных камерах, в которые имел доступ воздух, лишенный бактерий. Дополнительная проверка на отсутствие нитрификаторов заключалась в том, что часть сосудов оставлялась без растений, и в них по окончании опыта нитраты не были обнаружены. В сосудах с растениями наблюдалось хорошее развитие («вполне нормальное», по словам Мюнца) кукурузы, ячменя, бобов и конопли и энергичное усвоение азота, в некоторых случаях до 915 мг на сосуд.

В результате Мюнц пришел к выводу, что аммиак непосредственно усваивается растениями, без предварительного окисления.

Нужно отметить, что Мюнц нашел остроумный прием, чтобы дать растениям аммиак, не вводя в то же время ни серной, ни соляной кислоты, как это происходит в опытах с NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$,— в опытах Мюнца образующийся аммиак входил в состав поглощающего комплекса почвы, т. е. связывался с очень слабыми кислотами, гуминовыми и алюмокремневыми, которые при поглощении аммиака растениями не могли причинить им вреда.

Таким образом, Мюнц был первым автором, избежавшим и Сциллы, и Харибды, т. е. как щелочности углекислого аммония, погубившей растения в опытах Бейера (см. выше), так и кислотности, вызываемой солями аммиака с HCl и H_2SO_4, которая парализовала развитие растений в опытах Раутенберга и целого ряда других авторов[25*].

Если присоединить сюда опыты с доставлением углекислого аммиака листьям, то окажется, что школа Буссенго (Шлезинг и Мюнц) во Франции и А. Майер в Германии опережали свою эпоху. Но преобладающее большинство исследователей, часто даже хорошо владеющих аналитиче-

---

[24*] Journal d'agriculture pratique, 1889; см. также: Breal. Annales agronomiques, 1893.

[25*] Единственное возражение, которое делалось Мюнцу, состоит в том, что в его опыте кроме аммиака растения могли иметь другие источники азота, как аминокислоты и амиды, образующиеся при распаде белковых соединений в почве; но можно заведомо утверждать, что ни с количественной, ни с качественной стороны эти источники азота не могли играть заметной роли по сравнению с аммиаком.

ской техникой, не обладало такой силой логического анализа, как названные исследователи, и в работах этого большинства тонули незамеченными или недооцененными читателями такие логически отточенные и экспериментально совершенные (для своего времени) работы, какие давали Мюнц и А. Майер. В частности, заслонившими собой достигнутые Мюнцем результаты были работы его современника, голландского исследователя Пича, начатые в том же 1885 г.[26*], как и опыты Мюнца. Пич проводил свои опыты тоже в почве, освобожденной от нитратов путем промывания и стерилизации, но стерилизованной сполна, с последующим введением в нее определенных источников азота. Пич наполнял металлические сосуды 30 кг промытой почвы («гумозный песок»), закрывал сосуды ватой и стерилизовал нагреванием в масляной бане, имевшей температуру 160—180°. Азот вводился обычно в одной из форм: $NaNO_3$ и $(NH_4)_2SO_4$. При окончании опыта почва после уборки растений оставлялась на некоторое время и затем испытывалась на присутствие нитратов, но нитрификации в этих условиях не было.

С настойчивостью, достойной лучшей участи, Пич вел свои опыты в течение ряда лет (1885—1894), но по неполной, явно дефективной схеме, и неизменно получал один и тот же результат: хотя растения, несомненно, усваивали не только нитратный, но и аммиачный азот (что было достаточно строго доказано), развитие в первом случае было гораздо лучше, чем во втором; вот пример из опытов с ячменем [27*].

	Без азота	$NaNO_3$	$(NH_4)_2SO_4$
Сухой вес растений (в г)	14,0	36,6	21,6

Опыты эти представляли, с одной стороны, как бы преимущество по сравнению с опытами Мюнца, так как здесь определенно вводился аммиак как таковой и он, несомненно, усваивался, но аммиак был поставлен в худшие условия, чем у Мюнца, а главное, в худшие, чем селитра, в опытах самого Пича; поэтому казалось, что если нитрификация не является абсолютно необходимой, то все же без нее нормального развития не получается.

Работая в течение целых 10 лет по той же схеме, Пич так и не догадался, что в сосуды с сернокислым аммонием нужно было ввести $CaCO_3$, так как песчаная почва (да еще, видимо, кислая, как это обычно для «гумозных песков» в Голландии) [2] не могла дать материала для нейтрализации серной кислоты, введенной с $(NH_4)_2SO_4$. Это тем более удивительно, что, кроме давних наблюдений Раутенберга (1863), ему должна была быть известна данная А. Майером в 1881 г. общая формулировка понятия о физиологически кислых солях [28*], не обратил внима-

[26*] Pitsch. Landwirtschaftl. Versuchs Stationen, Bd. 34.
[27*] Ячмень гораздо чувствительнее к кислой реакции, чем овес.
[28*] A. Meyer. Landwirtschaftl. Versuchs Stationen, 1881.

ния Пич и на полевые опыты Меркера, проведенные в 1888 г., которые обнаружили положительное влияние извести в случае применения на удобрение сернокислого аммония[29*], и на вегетационные опыты Павла Вагнера, который еще более рельефно показал, что на почвах, бедных кальцием, коэффициент действия сернокислого аммония (по сравнению с селитрой) существенно повышается от внесения $CaCO_3$[30*].

Так как Пич вел опыты длительно и выступал в печати в течение десятилетия неоднократно (1887, 1893 и 1896) — в центральном агрономическом журнале международного значения[31*], то его работы много способствовали укреплению общепринятого тогда мнения, что без нитрификации нельзя получить хорошего развития растений, получающих только аммиак в качестве источника азота.

В те же годы появились еще некоторые работы, с ясностью доказывающие прямое усвоение аммиака (без посредства нитрификации), но в них не было сравнения аммиачного питания с нитратным, поэтому они не могли быть противопоставлены опытам Пича. Сюда относятся работы Бреаля, который показал[32*], что экземпляры Poa annua за 24 часа сполна поглощают аммиак из слабых растворов $(NH_4)_2SO_4$ (при такой постановке опыта не было нужды в стерилизации среды); такое же поглощение аммиака наблюдалось в работе Гриффитса (1891), проведенной в стерильных культурах[33*], но и здесь не было сравнения с нитратами, и потому вывод Пича, казалось, не встречал возражений. Только в самом конце прошлого столетия работами Коссовича у нас и Мазэ во Франции были проведены опыты сравнения аммиачного и нитратного питания с устранением побочного влияния физиологической кислотности и было обнаружено, что аммиак при известных условиях может давать результаты даже лучшие, чем нитраты. Но, следуя хронологическому порядку, я сначала должен буду сказать о своих работах в связи с изучением обмена азотистых веществ в растениях, а к разбору опытов Коссовича и Мазэ вернусь потом.

29* Jahrbücher d. Deutschen. Landw. Gesellschaft, 1889.

30* P. Wagner. Die Stickstoffdüngung. Berlin, 1892. Меркер и Вагнер объясняли в этих случаях эффект от $CaCO_3$ положительным влиянием на ход нитрификации, а так как эти опыты велись в нестерильной среде, то в них и нельзя было различить влияния на нитрификацию от влияния на прямое питание аммиаком культурных растений.

31* Landwirtschaftl. Versuchs Stationen, Bd. 34, 42 u. 46.

32* Breal. Annales agronomiques, 1893.

33* Griffits. Direct absorption of ammonical salts by plants.— Chemical News, v. 64, 1891 (реферат), Centralblatt für Agriculturchemie.

Обмен азотистых веществ в растениях и роль в нем аммиака и амидов

В то время, когда в вопросе об аммиачном и нитратном питании у отдельных исследователей уже появлялись признаки перехода к синтезу, но в основе продолжал господствовать в литературе все еще антитезис, мне пришлось совершенно неожиданно включиться в эту область работы.

В 1892 г. я получил заграничную командировку и стал искать таких лабораторий, в которых можно было научиться методам исследования в области соприкосновения агрохимии с физиологией растений и биохимией [34*]. Как и за 25 лет до меня К. А. Тимирязев, я увидел, что скорее, чем у ботаников-физиологов (среди которых видная роль тогда принадлежала Пфефферу), я смогу найти должное руководство у некоторых агрохимиков. Я побывал в двух агрохимических лабораториях, имевших уклон в сторону биохимии: у Толленса в Геттингене (вряд ли многие из изучавших химию углеводов по известной книге Толленса знают, что он всю жизнь занимал кафедру агрономической химии) и у Эрнста Шульце в Цюрихе, и остановился на второй, так как Толленс хотя и был выдающимся химиком и изучал составные части растений, но биохимические процессы его как будто совсем не интересовали. Шульце же, занимаясь, как и Толленс, выделением определенных химических соединений из

[34*] Так как работы Гельригеля, Пражмовского, Виноградского, открывшие новые горизонты, влияли на настроения того времени, то я сначала отдал некоторую дань микробиологической методике и проработал семестр у Альфреда Коха в Геттингене (там только что была организована кафедра сельскохозяйственной бактериологии), затем в Париже пытался работать в Институте Пастера, в отделе общей микробиологии, которым ведал Дюкло. Я хотел было изучить метановое брожение и выделять соответствующие микроорганизмы, но оказалось, что я ошибся выбором лаборатории. Дюкло был в ней только гостем, заглядывал два раза в неделю (в связи с чтением курса по биохимии), бегло обходил лабораторию, спрашивал «Comment va-t-il?» [Как дела?], а его помощник Фернбах вел свою работу с дрожжами и нисколько не интересовался тем, что делают докторанты. Оказалось, что Дюкло ведет свою основную работу в другом месте — в лаборатории ферментации при Агрономическом институте. Вообще выяснилось, что в то время как немецкие профессора дорожат притоком иностранцев в свои лаборатории (в Германии в то время работало много докторантов из России, Америки и Японии), в Париже нисколько иностранцами не интересуются. Так, когда я и Коссович обратились к Шлезингу с вопросом, нельзя ли у него работать, он ответил, что он в Агрономическом институте только лектор, свои же работы он ведет в Институте табака, куда иностранцы не допускаются. Мюнц на подобный же вопрос ответил, что в его лаборатории в Агрономическом институте можно проходить только общую методику агрохимического анализа, но мы, как иностранцы, должны сначала получить разрешение министра, а затем заплатить 800 франков (золотом) в семестр за место в лаборатории. Нашлась, правда, одна лаборатория, желавшая иметь докторантов,— это лаборатория Дегерена в Jardin des Plantes (Muséum d'Histoire naturelle). Я, конечно, знал Дегерена как профессора в Гриньоне (под Парижем), но мне было неизвестно, что он же ведает небольшой исследовательской лабораторией по химии растений в самом Париже. Но я поехал в Цюрих, и об этом решении жалеть не пришлось.

растений, не отказывался от опытов и с живыми растениями (по крайней мере — проростками), и это меня более привлекало, чем чисто химическое направление у Толленса.

Лаборатория Шульце в то время представляла собой тихое убежище, чрезвычайно удобное для научной работы, и ее использовали преимущественно иностранцы-докторанты. Хотя это была лаборатория при кафедре агрономической химии, но персонал лаборатории не был обременен преподаванием [35*], на сельскохозяйственном отделении в Цюрихе было немного студентов (человек 15 на одном курсе), они приходили 2—3 раза в неделю на 4-часовые групповые занятия по сельскохозяйственному анализу, а остальную часть своего 8-часового рабочего дня профессор и ассистенты отдавали спокойной научной работе в лаборатории и библиотеке. Швейцарские студенты у Шульце обычно научной работой не интересовались (это были преимущественно дети крестьян, прошедшие через земледельческую, а не общеобразовательную школу), они стремились поскорее окончить свой 3-летний курс и уйти на практику [36*]. Поэтому Шульце охотно принимал в свою лабораторию иностранцев-докторантов, желавших усвоить его методы научного исследования; среди этих иностранцев было немало и русских (Палладин, Крашенинников, Кизель, Васильев и др.) [37*].

Шульце работал преимущественно в области превращения азотистых веществ в растениях. Сначала он как кропотливый химик-аналитик просто выделял из растений ряд кристаллических продуктов и отождествлял их с известными в органической химии соединениями, а также открывал и неизвестные ранее вещества, как, например, аргинин. Но постепенно он перешел к изучению общей картины обмена веществ при прорастании, установил ряд новых фактов, а эти факты стали в резкое противоречие с господствовавшими тогда среди ботаников-физиологов взглядами лейпцигского профессора Пфеффера, пользовавшегося большим авторите-

---

35* Это типично и для большей части сельскохозяйственных отделений также и в университетах Германии.

36* Нужно сказать, что наиболее видными профессорами в Цюрихе были не швейцарцы, а немцы из германских университетов. Такими были Шульце и Винтерштейн, ботаник Шретер, химик Ланжи, геолог Гейм и др. Таким же был позднее и блестящий руководитель кафедры агрохимии Георг Вигнер. И даже на кафедрах прикладного характера наиболее видную роль играли не швейцарцы, как Кремер (зоотехник), Новацкий (земледелие) и др. Позднее появилась тенденция к замещению освобождающихся кафедр предпочтительно уроженцами Швейцарии, даже в ущерб поддержанию научного уровня политехникума, что и вызвало злую насмешку со стороны Ланжи («Sei es ein Ochs, nur ein schweizer Ochs!» — Пусть это будет бык, но только бы швейцарский бык).

37* Когда я работал у Шульце, оба его ассистента (Э. И. Винтерштейн и С. Л. Франкфурт) кроме немецкого владели и русским языком, и когда Шульце из общего рабочего зала уходил в свой кабинет, то мы переходили на русский язык и к нам нередко присоединялся еще И. К. Окулич, бывший тогда студентом. Это давало повод старому служителю Бургардту, коренному швейцарцу, жаловаться на «засилье русских» в лаборатории Шульце.

том (Пфефферу, действительно, принадлежали большие заслуги, но в области физической физиологии). Изучая еще с 70-х годов процессы прорастания, но не макрохимически, а путем микроскопического исследования проростков, Пфеффер пришел к выводу, будто распадение белковых веществ в растениях происходит по совсем другим законам, чем в животном организме (под влиянием ферментов) или в руках химика (под влиянием кислот), а именно: в растениях в преобладающем количестве образуется аспарагин, в то время как при кислотном и ферментативном гидролизе белки дают лишь небольшое количество аспарагиновой кислоты, преобладают же лейцин, аминовалерьяновая кислота, тирозин.

Образованию аспарагина приписывалось, как известно, Пфеффером особое значение именно при прорастании: он видел в нем транспортную форму азотистых веществ, отличающихся от белков такой же способностью диффундировать и легко перемещаться из семядолей в растущие органы, какой глюкоза отличается от крахмала.

Но когда Шульце применил методы количественного определения составных частей растения, проследил превращения веществ по различным стадиям прорастания и по отдельным органам проростков, то постепенно стала выясняться картина, совершенно не отвечающая взглядам Пфеффера. Именно Шульце нашел, что в первых стадиях прорастания, когда растущие органы (стебель и корень) еще малы, среди продуктов распада белков преобладает обычная смесь аминокислот, какая образуется вообще при гидролизе, в частности под влиянием трипсина у животных (лейцин, тирозин, аминовалерьяновая и другие аминокислоты); по мере же развития растущих органов за счет семядолей начинает брать верх аспарагин. Далее оказалось, что *концентрация раствора аспарагина в ростках люпина выше, чем в семядолях.*

Все это говорило против взглядов Пфеффера на аспарагин как на первичный продукт распада белков, образующийся в семядолях и двигающийся к точкам роста, но Шульце, как очень осторожный исследователь, не высказывался тогда совершенно отрицательно по отношению к господствующей в ботанических кругах теории, накопляя постепенно факты, из которых многие с ней не согласовались [38*].

[38*] Существенную поправку к взглядам Пфеффера внес видный русский ботаник И. П. Бородин: он признал, что аспарагин имеет более широкое распространение, не ограниченное только проростками, и играет существенную роль в жизненных процессах вообще, как это думали раньше Буссенго и Гартиг; в особенно больших количествах он накопляется, если растение находится в темноте и в нем истощается запас углеводов. Но так как Бородин работал также по преимуществу методом микроскопическим, то его работы, при всем остроумии некоторых приемов, все же не могли дать того, что дал Шульце, применивший наряду с качественными также и методы количественного химического анализа к изучению превращения азотистых веществ в растении (см. о значении работ Бородина в моей первой диссертации, напечатанной в Известиях Московского сельскохозяйственного института за 1895 г. Из позднейших авторов высокую оценку работ Бородина дает Чибнелл, поместивший в своей книге (1939) его портрет).

Чтобы объяснить расхождение между первичным (гидролитическим) распадом белков и вторичным преобладанием аспарагина, Шульце строил различные гипотезы (см. его статью в Landwirtschaftl. Jahrbücher, 1888), не высказываясь окончательно ни за одну из них; среди них фигурировало, например, предположение, что при обратном образовании белка в стеблевых органах проростков,— если таковое допустить вместе с Пфеффером,— главную роль играют аминокислоты (лейцин, аминовалерьяновая кислота и др.), аспарагин же труднее употребляется в процессе синтеза белка, и при повторении процессов распада и синтеза все более и более накопляются излишки аспарагина. Ясно, что это объяснение в корне противоречило взгляду Пфеффера на аспарагин как специфическое вещество, служащее для транспортирования азотистых веществ и регенерации белков в растущих органах, но Шульце не решался резко порвать с учением Пфеффера о превращении азотистых веществ при прорастании.

Таково было положение этого вопроса, когда я приступил к своей работе в лаборатории Э. Шульце. Летом 1893 г. Шульце предложил мне заняться выделением из зеленых растений тех компонентов, которые обильно накопляются в этиолированных проростках (аспарагин, лейцин, тирозин, органические основания), но в малых количествах должны присутствовать и в ассимилирующих растениях. Однако, овладев за лето методикой, я решил перейти к учету общего баланса превращений при прорастании всех веществ, поддающихся учету по тогдашнему состоянию знаний, причем объектом взял вику, отличающуюся от хорошо изученного Шульце люпина наличием крахмала в семенах.

При этом имелось в виду проверить, не будет ли это богатство крахмалом способствовать той регенерации белка в растущих органах, о которой постоянно говорил Пфеффер и для которой необходимо, чтобы кроме аспарагина к точкам роста притекали и углеводы.

Результаты моих опытов привели к совершенно другим выводам, и, когда я дальше углубился в эту работу, вопрос об аспарагине неожиданно для меня превратился в вопрос об аммиаке как источнике азота растений.

Основные результаты моей работы, проведенной зимой 1893/94 г. в лаборатории Шульце, были сведены в таблицу и изображены графически на рисунке. На нем показаны (рис. 1) превращения веществ за 40 дней пребывания проростков в темноте, видна трата веществ на дыхание, убыль крахмала, прирост клетчатки, распад белков с образованием аспарагина и аминокислот. Это та картина обмена веществ при прорастании, о которой К. А. Тимирязев позднее, при защите мной магистерской диссертации в 1896 г., сказал, что она должна войти в учебники [39*].

Но сейчас мы оставим в стороне крахмал и клетчатку и остановимся ближе на превращениях азотистых веществ. Так как при опытах по прорастанию мы азота извне не даем и его количество является постоянным,

---

[39*] Это потом и исполнилось — она появилась прежде всего в учебнике Ивановского, а затем и в других.

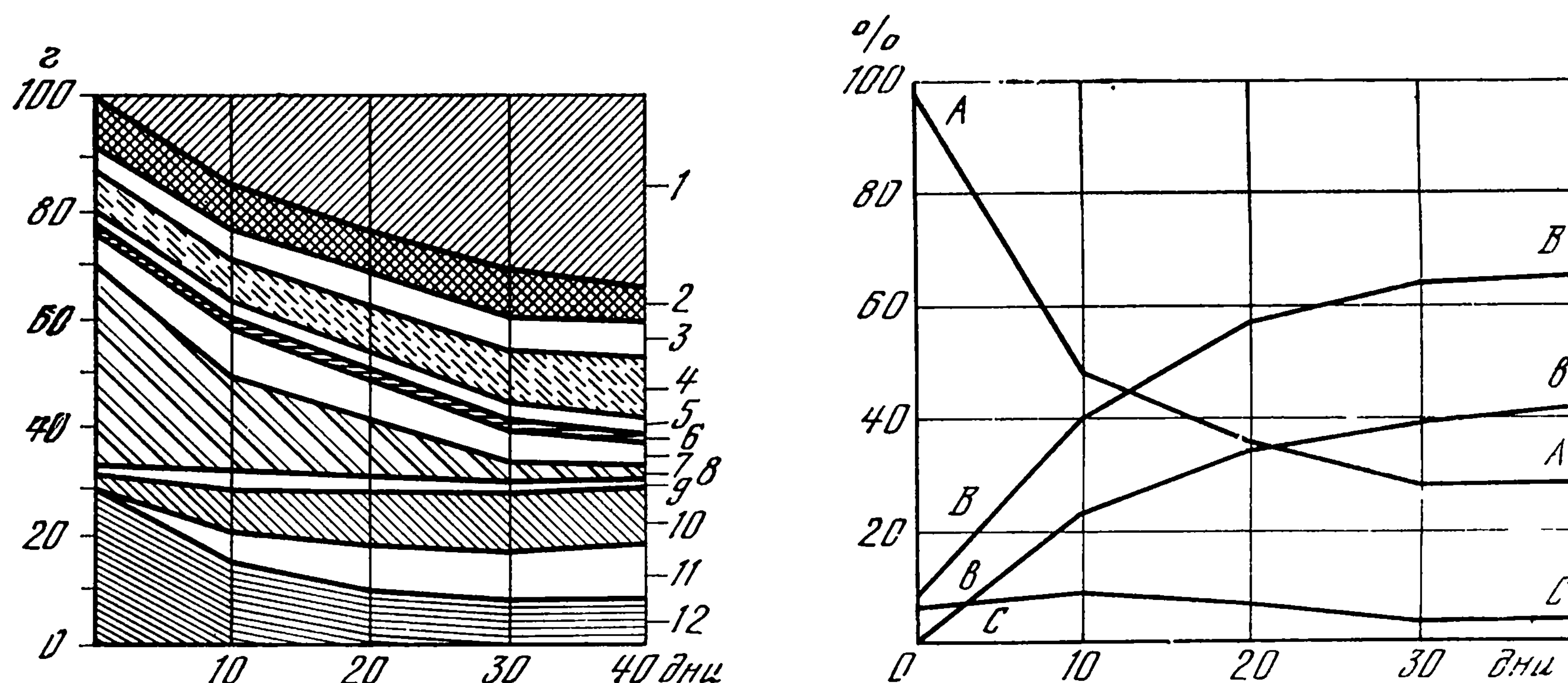


Рис. 1. Превращение веществ при прорастании семян вики

1 — убыль в весе вследствие дыхания; *2* — неопределенные вещества; *3* — гемицеллюлоза; *4* — клетчатка; *5* — зола; *6* — жиры; *7* — растворимые углеводы; *8* — крахмал; *9* — органические основания; *10* — аминокислоты; *11* — аспарагин; *12* — белковые вещества

Рис. 2. Обмен азотистых веществ при прорастании семян вики

Линия *АА* соответствует азоту белков, *ВВ* — сумме азота аминокислот и амидов, *СС* — азоту органических оснований и *вв* — азоту аспарагина (в процентах от общего количества азота)

то удобно принять это количество за 100 и в процентах выразить его распределение по разным группам соединений. Соответственные данные представлены графически на рис. 2. Одна из кривых (*АА*) показывает убыль белка — она сначала резко опускается, потом уменьшение белка замедляется. Почти зеркальным ее изображением является кривая *ВВ*, восходящая вверх,— это сумма аминокислот и амидов; вторая восходящая кривая (*вв*) изображает рост аспарагина, который становится главной составной частью небелкового азота, накопляющегося при прорастании, причем на долю аспарагина приходится две трети азота от всей смеси аминокислот и амидов (одна треть приходится на аминокислоты), а от всего азота ростков на аспарагин приходится 42%. А так как в исходном белке виковых семян на аспарагиновую кислоту приходится лишь 3% от всего азота, то ясно, что аспарагин не есть первичный продукт распада белка, как думал Пфеффер, а образуется благодаря вторичным процессам. Кроме того, несмотря на то, что семена вики богаты крахмалом, в первые же дни прорастания идет накопление аспарагина, и дальше он не потребляется в процессе синтеза белка в растущих частях, как это должно бы быть по Пфефферу. Это заставило меня отказаться от взглядов Пфеффера и признать аспарагин вторичным продуктом обмена веществ, подобным мочевине, которая образуется путем вторичного синтеза за счет аммиака. Эту мысль когда-то высказывал Буссенго, но она была забыта, я же ее восстановил и дал новые доказательства для поддержания этого взгляда, прямо противоположного взгляду Пфеффера.

В работе 1894 г.[40*] после обзора фактической части моей работы с Vicia sativa и указания на противоречие гипотезы Пфеффера с найденными мною фактами далее говорилось: «Невольно вспоминается взгляд Буссенго, по которому аспарагин в этиолированных ростках является таким же продуктом окисления белков[41*], как мочевина в животном организме; как аспарагин, так и мочевина не могут быть потреблены в процессе регенерации белка, но в то время как мочевина удаляется из организма, аспарагин накопляется в клеточном соке этиолированных растений. Но когда под влиянием света в растении берут верх синтетические процессы, тогда кончается аналогия с животным организмом» и тогда аспарагин потребляется растением в процессе синтеза белков[42*].

Вопрос о распадении белков при прорастании послужил темой для моей магистерской диссертации («О распадении белковых веществ при прорастании», 1895), в которую вошла работа, проведенная у Шульце (главы I и IV), дополненная опытами, проведенными в Москве (главы II и III).

В 1896 г. я обнаружил, что у меня есть единомышленник по вопросу об аспарагине, а именно: я получил интересную работу из Токио от Оскара Лева (Oskar Loew)[43*], в которой он высказывался, как и я, за вторичное образование аспарагина с участием аммиака, но так как в этой и последующих статьях Лева преобладало построение ряда гипотез, часто

40* Pfeffer. Landw. Versuchs Stationen, XLV, p. 265.

41* Точнее, не самих белков, а продуктов их гидролиза.

42* Подтверждение взгляда Буссенго на образование аспарагина и связь его с окислительными процессами я видел, между прочим, в работе Палладина, который нашел, что при помещении ростков в бескислородную атмосферу образование аспарагина прекращается (см.: В. И. Палладин. Влияние кислорода на распадение белковых веществ в растении, 1889). Этот взгляд Палладина оспаривался Клаузеном, но впоследствии был подтвержден Годлевским.

43* Статья об аспарагине в Chemiker Zeitung за 1896 г.; в том же году вышла в Лондоне отдельной брошюрой работа Лева «The Energy of Living Protoplasm», впоследствии изданная на немецком языке в значительно дополненном виде.

То, что Оскар Лев был долгое время профессором в Токио, не является отдельным случаем: Япония в 80-х годах приглашала ряд немецких профессоров по контракту на 10 лет, с щедрой оплатой, с тем чтобы они создали школу молодых японских исследователей, но через 10 лет они обязаны были оставить Японию, сдав кафедру своим преемникам. Эту возможность использовали ряд способных приват-доцентов немецких университетов, в частности из агрохимиков «прошли через Японию», кроме Лева, еще Оскар Кельнер, Либшер, Феска. Через 10 лет они возвращались в Германию с повышенными шансами на занятие кафедры (благодаря ряду научных работ, сделанных в Японии и напечатанных, помимо японских, и в европейских журналах). Вообще Германия поставляла тогда профессоров и в Японию, и в США, и в Бразилию. Это большое число свободных научных работников, кроме общей высоты и культурного уровня тогдашней Германии, создавалось еще двумя факторами, а именно: немецким типом вольной приват-доцентуры (который у нас часто напрасно смешивался со штатной доцентурой) и обилием сверхштатных ассистентов, приглашаемых на 3 года, а затем обязанных или продвигаться дальше по научной дороге, или уходить на производство.

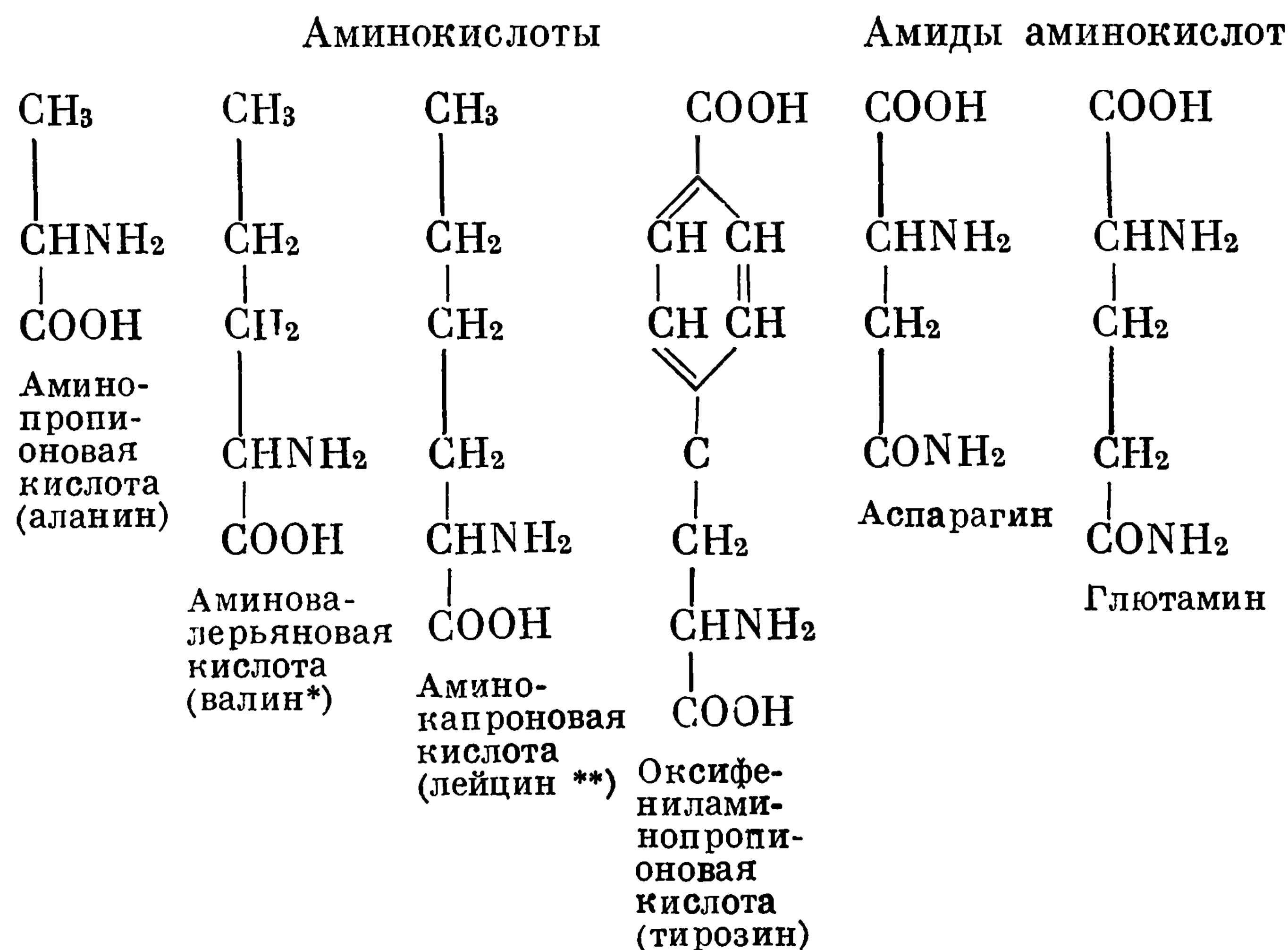
совершенно невероятных (таково утверждение относительно полимеризации аспарагинового альдегида при процессе синтеза белков), то и те мысли, которые по существу заслуживали бы внимания, также встречались с недоверием и потому остались без влияния на экспериментальную проработку данного вопроса. Господство взглядов Пфеффера также мешало в то время проникновению иных взглядов, особенно в среду ботаников.

Окончательное доказательство образования аспарагина путем вторичного синтеза дано было мною в последующих опытах, проведенных уже в Москве (1897) [44*]. На трех растениях я проследил путем ежедневных анализов суточную скорость распада белка и образования аспарагина, с одновременным учетом энергии дыхания. Я ожидал, что, согласно существованию большой кривой роста и дыхания, должна существовать большая кривая распада белка и образования аспарагина; это и подтвердилось (рис. 3), но проявилось и нечто неожиданное, а именно оказалось, что во второй (нисходящей) части имеет место пересечение названных кривых и «аспарагиновая кривая» (приход аспарагина) идет выше «белковой кривой» (распад белка), т. е. к концу прорастания *аспарагина образуется больше, чем распадается белка* [45*]. За счет чего же может образоваться аспарагин в таких количествах? Только за счет аминокислот, вторичным путем, а это возможно лишь в том случае, если в ростках, как и в тканях животного организма, аминокислоты распадаются с образованием аммиака и этот аммиак потребляется в процессе синтеза аспарагина.

Достаточно взглянуть на формулы обычных аминокислот, являющихся первичным продуктом распада белка при гидролизе как в растительном, так и в животном организме (аминовалерьяновая кислота, лейцин, тирозин и др.), и формулу аспарагина, чтобы видеть, что из одной молекулы любой аминокислоты, содержащей одну группу NH_2, не может получиться молекула аспарагина, содержащая две группы NH_2, без того, чтобы не распалась с образованием аммиака другая молекула аминокислоты, и этот аммиак пойдет на образование амидной группы.

[44*] Работы физиологического характера я обычно докладывал в Ботаническом отделении Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии, где председателем был К. А. Тимирязев, сам часто выступавший там со своими докладами. Заседания отделения обычно устраивались в Большом зале Политехнического музея (старое здание) и привлекали значительное число научных работников и студентов старших курсов из разных высших учебных заведений Москвы. Там же я доложил и свою работу, доказывавшую вторичность образования аспарагина, на заседании, происходившем в начале декабря 1897 г., а в начале 1898 г. была получена книжка журнала «Zeitschrift für physiologische Chemie» со статьей Шульца, в которой он уже сделал выбор из нескольких своих предположений, ранее им высказанных, считая их одинаково гипотетичными, и также пришел к выводу о вторичном образовании аспарагина за счет аминокислот.

[45*] Само собой разумеется, что сравниваются количества азота в распавшемся белке и образовавшемся аспарагине.



* Норвалин. ** Норлейцин.

Доказательство вторичного происхождения аспарагина позволило мне примирить то противоречие, которое раньше существовало во взглядах на процесс распада белков при прорастании: Шульце считал этот процесс гидролитическим, а Лев и Палладин — окислительным. Факты, мной наблюдавшиеся, позволили найти синтетическое решение и считать, что сначала в семядолях белок под влиянием фермента распадается, гидратируясь совершенно так, как это происходит под влиянием кислот (а также в пищеварительных органах животных под влиянием трипсина), а затем в растущих органах продукты гидратации могут окисляться с образованием аммиака, который в процессе вторичного синтеза потребляется с образованием аспарагина, например, путем дегидратации аспарагиновокислого аммония, подобно тому как из карбаминовокислого аммония получается мочевина (подробнее см. позднейшую сводку в моей докторской диссертации «Белковые вещества», 1899, глава II).

Дальше мой ход мыслей был таков: если аммиак, образовавшийся при регрессивном метаморфозе, растение может использовать для нового синтеза, то отсюда нужно было заключить, что и *извне поступающий аммиак тоже может потребляться растением непосредственно без предварительной нитрификации*. Так получился неожиданный подход к разрешению вопроса о питании растений аммиачным азотом при работе по аспарагину, а в то же время окончательно выяснилось, что аспарагин, как и мочевина в животном организме, образуется за счет аммиака и в этиолированном растении вовсе не служит для регенерации белка в растущих органах (вместе с притекающей глюкозой), как утверждал Пфеффер, но скопляется как отброс до тех пор, пока не наступит ассимиляция.

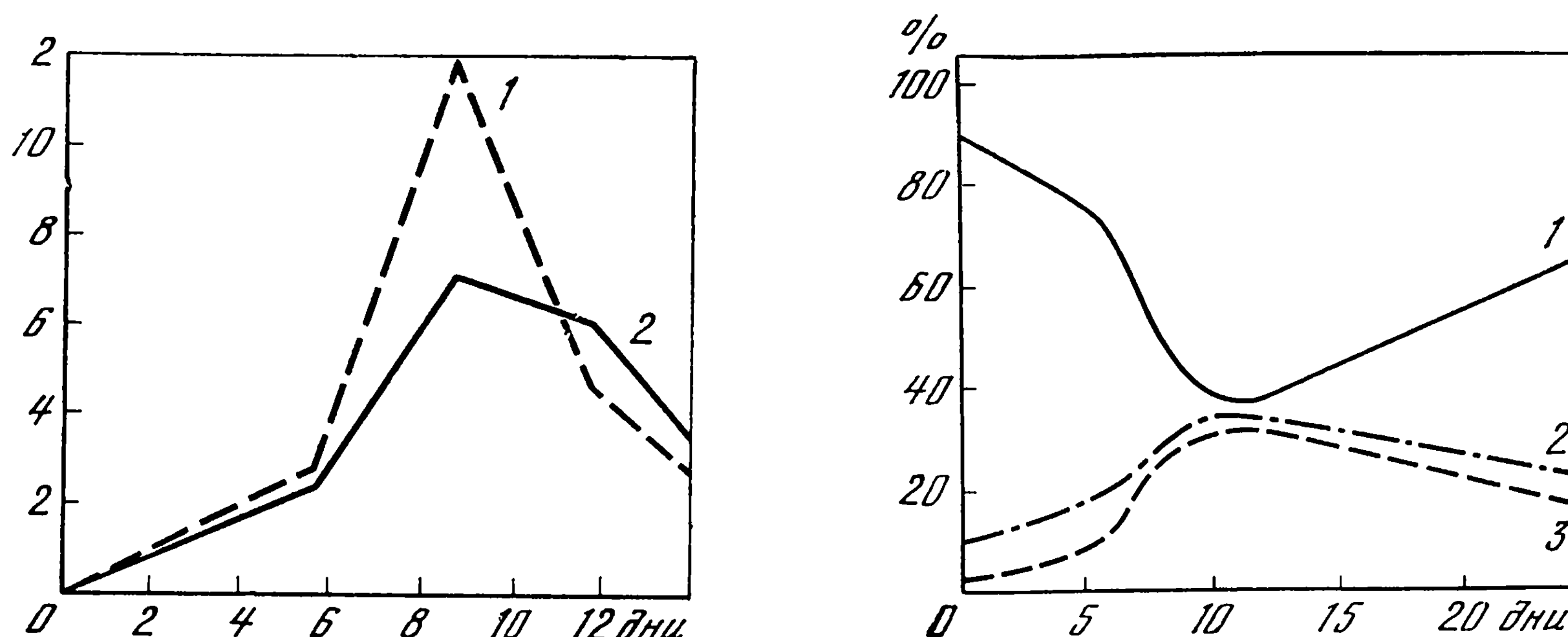


Рис. 3. Суточная скорость распада белка и образования аспарагина (опыт с Lupinus angustifolius) в % от общего количества азота

1 — распадение белков; 2 — образование аспарагина

Рис. 4. Регенерация белков на свету (опыт с Lupinus luteus)

1 — азот белков; 2 — азот аминокислот; 3 — азот аспарагина

Так я пошел вразрез с господствующим мнением, и это мне не прошло даром: Пфеффер был тогда общепризнанным авторитетом, а я молодым, начинающим работником, и Пфеффер позволил себе высказать свое мнение там, где я не мог ему отвечать,— на страницах своего учебника, а именно в издании 1897 г. было сказано, что мнение Прянишникова о сходстве между аспарагином и мочевиной «во всяком случае ошибочно» («unter allen Umständen irrig»). Но тут еще раз оправдалась французская поговорка: «Rira bien qui rira le dernier» — [Хорошо смеется тот, кто смеется последним].

В дальнейшем не только мои собственные работы подтвердили взгляд на аспарагин как аналог мочевины, образующейся путем вторичного синтеза,— это было подтверждено впоследствии и в той самой лаборатории, где работал Пфеффер, его преемником Руляндом.

Небезынтересно теперь сопоставить этот отзыв Пфеффера с тем, что через 40 лет написал о моих работах того времени Чибнелл [46*] в своем обстоятельном обзоре работ по аспарагину:

«Лет за пять до появления работы Шульце, явившейся результатом его долгих и упорных исследований, Прянишников уже совершенно точно установил, что часть аспарагина в проростках должна происходить из

[46*] Chibnall. Protein Metabolism in the Plant, 1939, p. 57, 58. В этом очерке уделено много внимания моим работам (см. особенно стр. 52—104); там же помещены портреты ряда авторов (во главе с Шульце), работавших по вопросам о распадении белков и образовании аспарагина, причем из русских авторов даны портреты Бородина и Прянишникова.

продуктов разложения белка (а не самого белка.— *Д. П.*). Основываясь на собственных данных и на данных ученика Шульце — Мерлиса, Прянишников путем сравнения интенсивности разложения белка, с одной стороны, и интенсивности накопления аспарагина — с другой, установил, что оба процесса достигают своего максимума приблизительно в одно и то же время, но затем процесс разложения белка понижается значительно быстрее процесса накопления аспарагина[47*]. Это показывает, что аспарагин синтезируется из других продуктов распадения белка, и таковыми, по предположению Прянишникова, должны быть аминокислоты».

Далее Чибнелл отмечает, что в 90-х годах XIX века «такое предположение являлось теоретическим, и сам Шульце, без сомнения, считал его таковым. В то время анализы белка были еще далеко не полными (около 45%)[48*], и не было еще доказательств того, что при энзимном и даже кислотном гидролизе молекула белка даст только аминокислоты».

«Здесь ярко выступает контраст между подходом к делу учителя и ученика, контраст между опытностью зрелого ученого и смелостью — а может быть, и более острой интуицией — юноши. Как мы видели, Шульце потратил пять лет упорного труда для того, чтобы окончательно доказать то положение, для установления которого Прянишникову достаточно было сделать выводы из более ранних работ школы самого Шульце!» Отметим, что тогда (в 1896 г.) Пфеффер, как это часто бывает в полемике, приписал мне еще и то, чего у меня вовсе не было: я говорил, что аспарагин не идет на синтез белка в этиолированном растении, а Пфеффер писал так, точно я говорил о растении вообще. Ясно, что на свету аспарагин используется растением для синтеза белка, как это видно, например, из следующего моего опыта (1897) с прорастанием на свету, без доставления азота извне (рис. 4). Здесь видно, что за стадией распада белка наступает затем стадия синтеза, при которой потребляются как аминокислоты, так и аспарагин. Но ясно, что аспарагин потребляется в процессе синтеза белка не так, как когда-то думал Лев, допустивший простую полимеризацию аспарагина при одновременном вхождении глюкозы (это было до работ Эмиля Фишера),— аспарагин служит как носитель группы NH_2. Хотя здесь мы имеем дело с двумя положениями группы NH_2, но ни одно не означает закрепления намертво — не только амидная, но и аминная группа способна освобождаться и идти на построение любых аминокислот в растении, о чем будет речь ниже. В том смысле, что аспарагин является носителем групп NH_2, которые позднее используются растением в целях синтеза, он может быть, если угодно, назван резервным веществом, но отнюдь не транспортной формой резервных азотистых веществ семядолей, как думал Пфеффер, так как образуется-то

[47*] Здесь Чибнелл воспроизводит тот самый рисунок из работы 1897 г., который помещен в настоящей статье как рис. 3.

[48*] Здесь имеется в виду неполный количественный учет продуктов гидролиза в то время.

он не в семядолях, а в энергично дышащих растущих стеблевых органах [49*].

Мой вывод о том, что аммиак, образующийся в растении, вновь потребляется в процессе синтеза аспарагина, основывался на опытах 1894 и особенно 1897 гг. Поэтому когда в 1898—1900 гг. появились почти одновременно работы П. С. Коссовича в Петербурге и Мазэ в Париже [50*], окончательно доказавшие прямое усвоение аммиака, вводимого через корни, то я мог только приветствовать эти работы как строгое экспериментальное доказательство положения, для меня a priori бывшего несомненным.

Коссович впервые провел опыт по аммиачному питанию растений при осуществлении двух необходимых условий: не только совершенной стерильности среды, но и устранения физиологической кислотности $(NH_4)_2SO_4$, которая снижала результаты в опытах Пича, о которых упоминалось ранее. Не касаясь здесь существенного продвижения вперед в области методики стерильных культур высших растений, достигнутого Коссовичем, отметим лишь, что он для смягчения кислотности вводил или мел, или гидрат окиси железа и ему удалось при его постановке опыта (постепенное введение сульфата аммония вместе с поливной водой) получить при аммиачном питании не только вообще хорошие результаты, но

[49*] Первые указания на то, что энергия образования аспарагина (или глютамина) связана с энергией дыхания и что то и другое зависят от температуры, даны были в 1874 г. Лясковским (Москва, кафедра агрохимии МГУ) в его работе по прорастанию тыквенных семян, затем Палладин отмечал связь образования аспарагина с кислородным дыханием (см. сказанное выше). Мной был поставлен вопрос, изменяется ли при повышении температуры энергия накопления аспарагина сообразно кривой роста или кривой дыхания, причем опыты 1899 г. дали ответ в пользу второго решения, так как не было обнаружено оптимума при 25—28°, а непрерывно с возрастанием температуры в пределах опыта (до 35°) росло и количество аспарагина, как показывают следующие цифры (в %):

	$t°$	20°	28°	35°
Опыт I	I. Суточная убыль белка (по N)	1,42	3,30	4,22
	II. Прибыль N аспарагина	0,57	1,20	1,48
	$t°$	22,5°	28°	35-36°
Опыт II	I. Суточная убыль белка (по N)	2,80	4,05	4,40
	II. Прибыль N аспарагина	0,14	0,61	0,97

(Белковые вещества и их превращения в растения в связи с дыханием и ассимиляцией, 1899, стр. 61).

[50*] Журнал опытной агрономии, II, 637 и Annales de l'Institut Pasteur, XIV, 26. В сущности, Коссович провел свои опыты раньше, чем Мазэ, а именно в 1897 г., но так как он своевременно не напечатал сообщения о своей работе за границей (что часто упускают из виду русские авторы), то там считается, что Мазэ первый установил прямое использование аммиака высшими растениями, без участия нитрификации. Кроме Коссовича и Мазэ, по этому вопросу заслуживает еще внимания работа Крюгера (Landwirtschaftliche Jahrbücher, 1905, 761).

иногда даже лучшие, чем при питании селитрой. Вот пример из его опытов.

	Вес растений (в г)	Количество азота в них (в мг)
$(NH_4)_2SO_4+CaCO_3$	3,00	67
$(NH_4)_2SO_4+Fe(OH)_3$	3,95	127
$Ca(NO_3)_2+CaCO_3$	3,05	77

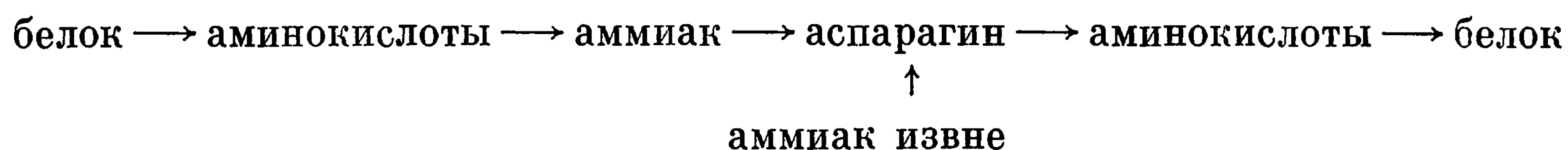
В то время как Коссович работал с песчаными культурами, Мазэ применил водные, причем у него также были случаи большего усвоения аммиачного азота, чем нитратного, а кроме того, был случай, в котором при одновременном введении в раствор $Ca(NO_3)_2$ и $(NH_4)_2SO_4$ (в присутствии $CaCO_3$) растения поглотили аммиак до конца, нитратный же азот частью остался неиспользованным.

Эти отдельные случаи, тогда казавшиеся исключениями, с полной регулярностью подтвердились, когда мы начали (с 1900 г.) систематически изучать свойства азотнокислого аммония. Эта соль, вопреки господствовавшим тогда представлениям, оказалась физиологически кислой, т. е. аммиак поглощается корнями растений с большой жадностью, чем азотная кислота, и раствор становится кислым. Впервые в 1900 г. мы подметили эту кислотность благодаря косвенным явлениям (растворяющее действие остаточной кислотности на фосфорит в песчаных культурах), а затем она была установлена непосредственно также и в стерильных культурах. Не останавливаемся здесь подробнее на этой серии опытов, так как нам предстоит еще вернуться к ним во второй части настоящей работы.

Итак, к началу этого столетия получены были строго установленные данные, доказывающие возможность хорошего усвоения аммиака растениями без нитрификации; с этого момента следует считать стадию антитезы пройденной, наступила стадия синтеза — признание обоих источников азота непосредственно доступными для растения. Однако еще долго это было известно только ограниченному кругу специалистов, масса же агрономов продолжала думать, что аммиак должен непременно подвергнуться нитрификации; этот тезис продолжал повторяться в учебниках (и даже в 1936 г. Сельхозгиз печатал учебники, в которых все еще утверждалось, что только в окисленной форме азот доступен растениям) [51*].

[51*] В вопросе о значении нитрификации нередко смешивают две стороны: 1) чисто физиологический вопрос, который разрешен вышеупомянутыми опытами, и 2) вопрос нормального режима в почве, в смысле должной ее аэрации и поддержания реакции в известном интервале; вот в этой плоскости вопрос о нитрификации сохраняет значение, так как отсутствие нитрификации обозначает какое-нибудь неблагополучие, например отсутствие аэрации вследствие избытка влаги или излишней плотности почвы, а это мешает одновременно и нормальному росту культурных растений. Точно так же кислая реакция почвы, подавляющая деятельность нитрификаторов, в то же время подавляет рост и большинства высших растений; известкование в этом случае оздоровляет почву и, восстанавливая нитрификацию, одновременно

К началу этого столетия все имевшиеся факты подтвердили намеченную мной схему превращения азотистых веществ в растении:



Однако не все переходы между звеньями этой цепи были экспериментально проверены. Так, участие аммиака в образовании аспарагина за счет азота аминокислот при прорастании логически вытекало из моих опытов 1897 г., но этот скрытый аммиак, быстро потребляемый в процессе синтеза, обнаружен еще не был. Этот пробел пополнен был В. С. Буткевичем (1904), который, пройдя школу Шульце, вел исследования дальше в той же области, как и я (в частности, описываемые ниже опыты проведены им в моей лаборатории, но он работал самостоятельно, в качестве аспиранта-докторанта).

Исходя из идей известного физиолога Клода Бернара, что анестезирующие вещества подавляют преимущественно синтетические процессы, не затрагивая процессов распада, Буткевич подверг ростки действию толуола. Тогда синтез аспарагина подавлялся, и аммиак, мной логически предвиденный, был обнаружен им экспериментально. Кроме того, Буткевич показал, что если ростки люпина дольше выдержать в темноте, доведя до углеводного голодания, то они также накопляют аммиак.

Очевидно, образование аммиака имеет место в нормальных растениях, он является необходимым звеном в процессе превращения азотистых веществ вообще, но обычно мы его не можем уловить вследствие быстрого перехода в амидную форму.

Повторяя свой опыт с анестезией в бескислородной среде, Буткевич не получил образования аммиака; следовательно, нужно думать, что в этом случае образование аммиака связано с процессами окислительными[52*].

Этим в известной мере сглаживается степень различия между высшими растениями и, например, плесневыми грибами, относительно которых давно известно, что они способны доводить распад белков не только до аминокислот, но и до аммиака, причем последний может иногда накопляться в значительных количествах. Условия такого накопления выяснены, между прочим, такими наблюдениями Буткевича: способность некоторых форм (как Aspergillus) при питании белками накоплять значительные количества аммиака идет параллельно с их способностью вырабатывать кислоты (щавелевую кислоту), нейтрализующие аммиак. Если искусственно устранять кислотность, вводя, например, мел, то Aspergillus замедляет накопление аммиака, ограничиваясь расщеплением белка или пептона до аминосоединений (в жидкости накопляются лейцин и тиро-

повышает и урожай. Поэтому наличность нитрификации является благоприятным показателем с точки зрения оценки плодородия почвы.

[52*] В. С. Буткевич. Регрессивный метаморфоз белковых веществ у высших растений, 1904.

зин). Другую картину дают Penicillium и Mucor: не будучи способны к обильному образованию кислот, они обычно образуют мало аммиака и много аминосоединений. Но если в окружающую среду вводить кислоты (например, фосфорную), то и эти организмы доводят превращение азотистых веществ до аммиака, который накопляется в жидкости до тех пор, пока реакция еще может не переходить в щелочную.

Следующим этапом наших работ по аспарагину была экспериментальная проверка предположения, что если «свой» аммиак растение обезвреживает, потребляя его в процессе образования амидов, то, вероятно, и извне поступающий аммиак должен пойти прежде всего на образование аминных и амидных групп в аспарагине и глютамине и в этой обезвреженной форме быть готовым резервом для синтеза ряда аминокислот, входящих в состав белковой молекулы. Так как на свету синтетические процессы протекают очень быстро и промежуточные продукты часто бывает трудно уловить, то мы начали наши опыты с проростками, развивающимися в темноте, но еще заведомо не исчерпавшими запаса безазотистых материалов.

Нельзя сказать, чтобы в этом направлении не было ранее сделано попыток, однако полученные результаты были противоречивы. Так, ученики Оскара Лева в Японии — Киношита и Сузуки еще в 1895—1897 гг. утверждали, что ими доказано опытным путем образование аспарагина в растении за счет введения аммиака или мочевины как на свету, так и в темноте. По идее, казалось бы, утверждения Киношита и Сузуки должны быть правильными, но их экспериментальные данные были несовершенны [53*]. В то же время Лоран (Бельгия) [54*], применяя более строгие аналитические методы, не мог получить заметного прироста органических соединений в темноте, синтез шел только на свету; таким образом, его данные противоречили выводам Киношита и Сузуки.

[53*] Здравые мысли, послужившие исходным пунктом для работ названных японских исследователей, исходили от их учителя Оскара Лева, но исполнение не отвечало должному уровню строгости. Я в свое время (в диссертации 1899 г.) подверг критическому разбору эти работы, причем главным дефектом работы Киношита (College of Agriculture. Tokyo, Bulletins, v. II, № 4, 1895) считал отсутствие в них определений аммиака (даже при опытах питания растений 1%-ным раствором хлористого аммония); поэтому цифры Киношита для аспарагина на самом деле означают сумму азота аспарагинового и аммиачного. Работа Сузуки (та же серия, v. II, № 7, 1897) представляет шаг вперед, он применяет уже более слабые растворы NH_4Cl (0,1%), но опять и в этой работе почему-то определение аммиака, как правило, отсутствует, кроме лишь одного опыта (с гречихой), в котором оно выявило отсутствие прироста аспарагина; а между тем можно думать, что у Сузуки действительно были случаи синтеза аспарагина за счет аммиака, например, в опыте с подсолнечником (0,99% азота в виде аспарагина+аммиак против 0,29% в контрольных растениях), но почему Сузуки не захотел сделать эти цифры доказательными, проведя определение аммиака; совершенно непонятно.

[54*] Laurent. Annales de la science agronomique, 1897, 11, 207. Заметим, что в то время как Лоран не наблюдал прироста органических веществ в темноте ни за счет аммиака, ни за счет нитратов, Годлевский (Краков, кафедра агрохимии) в том же 1897 г. в опытах с этиолированными проростками пшеницы получил положитель-

Таким образом, вопрос этот нуждался в экспериментальной проверке, поэтому мной начиная с 1909 г. был организован ряд работ с разными растениями, с различным запасом в них углеводов, как первичным (в зависимости от состава семян), так и вторичным (в связи со стадией развития проростков). Тогда оказалось, что в зависимости от условий опыта (источника азота, вида растения и пр.) результат получается различный, что позволило нам разделить растения по поведению проростков на три группы [55*], а именно:

1. Растения, в проростках которых при питании растворами аммиачных солей (например, 0,05—0,1% NH_4Cl) легко образуется аспарагин; аммиак при этом в таких растениях не накопляется; типичный пример — зерновые злаки.

2. У растений другого типа (горох, вика) введение солей аммония с сильными кислотами или не вызывает увеличения содержания аспарагина, или даже наблюдается его уменьшение вследствие подавления роста и замедления распада белков; только при введении $CaCO_3$ начинается использование аммиака в процессе образования аспарагина.

3. У проростков люпина обычно, а у других растений — при крайнем истощении запаса углеводов даже введение $CaCO_3$ не вызывает синтеза аспарагина, растения страдают от аммиачного отравления.

В этих работах участвовало значительное число лиц: И. С. Шулов, О. Н. Кашеварова, Ф. Т. Перитурин, С. Н. Калинкин, Г. И. Ритман, И. А. Дабахов, А. Г. Николаева, А. С. Каблуков, А. П. Красинский, В. А. Морозов, А. И. Смирнов. Приведем несколько характерных примеров [56*].

Первым в этой серии был опыт, проведенный Шуловым в зиму 1909/10 г. с проростками гороха и ячменя, при питании 0,1 н. раствором NH_4Cl. Опыт с горохом дал отрицательный результат; не только не было образования аспарагина, но его содержание понизилось под влиянием NH_4Cl; и если бы опыт был поставлен только с горохом, то казалось бы, что подтверждается вывод Лорана об отсутствии синтеза амидов в темноте.

Но опыт с ячменем дал ясный положительный результат; вот данные анализов после пребывания проростков в течение 10 дней на растворе NH_4Cl.

ные результаты. Годлевский повторил эти опыты в 1900 г. (Bulletin de l'Academie des Sciences, Cracovie), придав им еще большую доказательность. Таким образом, Годлевский является первым автором, установившим возможность синтеза азотистых органических веществ в темноте, и если это было им доказано по отношению к нитратам, то тем более этого нужно было ожидать для аммиака. Однако прямого опыта с аммиачным питанием у Годлевского не было.

[55*] Д. Н. Прянишников. Журнал опытной агрономии, 1912, стр. 673.

[56*] Д. Н. Прянишников, И. С. Шулов. О синтетическом образовании аспарагина в растениях.— Журнал опытной агрономии, 1910, 533. См. также Berichte der Deutschen Botanischen Geselschaft, 1910.

В 100 проростках содержалось (в мг):

	Вода	Раствор NH_4Cl	Разность
Всего азота	145,8	161,5	+15,7
Азота белков	61,8	61,5	−0,3
» аминокислот	46,8	42,7	−4,1
» аспарагина *	36,7	56,4	+19,7
» аммиака	0,5	0,9	+0,4

* Удвоенный амидный азот

Здесь мы видим, что поступивший в растение аммиак не накоплялся как таковой, но его потребление вызвало значительное увеличение количества аспарагина; это увеличение в данном случае даже превышает прибыль всего азота, так как часть аспарагина могла образоваться за счет окисления аминокислот, количество которых несколько уменьшилось. Количество азота аспарагина возросло при аммиачном питании на 19,7 мг, но учтя убыль аминокислот, которые могли отдать на образование аспарагина 4,1 мг азота, получим, что за счет извне поступившего азота могло перейти в азот аспарагина 15,6 мг; по общему же азоту имеем увеличение на 15,7 мг, т. е. *весь поступивший извне аммиак потребился в процессе синтеза аспарагина.*

Отсюда был сделан вывод, что половина аммиака переходит в группу $CONH_2$, другая половина — в группу $CHNH_2$; значит, аспарагин образовался не из аспарагиновой кислоты и аммиака, а, например, из яблочной кислоты, вообще из безазотистых веществ и аммиака [57*].

Так, подтвердилось, что аспарагин есть не только характерный продукт, образующийся путем вторичного синтеза проростками, но он же является первым продуктом синтеза при усвоении аммиака, поступающего извне. Так же вели себя проростки тыквы, семена которой богаты маслом (опыты Ф. Т. Перитурина); здесь также аммиак не накоплялся как таковой в значительных количествах, но за его счет накоплялся амид аминокислоты (в данном случае это был глютамин).

Опыт с проростками тыквы

В 100 ростках содержалось (в мг)	Вода	Раствор NH_4Cl	Разность
Всего азота	1438,3	1545,4	+107,1
Азота белков	1153,0	1049,9	−103,1
» аминокислот	82,3	109,8	+27,5
» глютамина	194,3	379,3	+185,0
» аммиака	8,7	(6,4)	−2,3

[57*] Т. е. не из «готовой» аспарагиновой кислоты как продукта распада белка, а образовавшейся в результате вторичного синтеза из безазотистых веществ и аммиака.

Если количество вновь образовавшегося глютамина — 185 мг N превышает количество поступившего в растение азота — 107,1 мг, так это потому, что здесь питание NH_4Cl усилило развитие ростков и распад белков: из белков освободилось 103,1 мг, из них 27,5 мг пошло на увеличение количества аминокислот, на образование глютамина пошли остальные 75,6 мг; вычитая 75,6 из 185 (общий прирост глютамина), получаем 104,4. Это глютамин, образовавшийся за счет вновь поступившего извне азота; а так как из определения общего азота видно, что извне поступило 107 мг, то и в этом случае можно сказать, что весь поступивший извне азот оказался отложенным в виде глютамина.

Однако для того чтобы за счет аммиака, поступающего извне, образовался аспарагин, нужно, чтобы в растении был какой-то безазотистый остаток, какая-то четырехуглеродная цепочка, которая может получаться за счет углеводов. Отсюда связь между отношением проростков к поступающему извне аммиаку и содержанием углеводов в прорастающих семенах.

Для установления этой связи мы, как сказано выше, взяли ряд объектов с убывающим количеством углеводов при одновременном возрастании содержания белковых веществ; для главных представителей этого нисходящего ряда приблизительное отношение между содержанием белков и углеводов в семенах таково:

I	II	III
Злаки	Бобовые типа гороха	Люпин
1:6	1:2	1:0,6

Конечно, кроме этого отношения отдельные представители названных групп могут отличаться и другими особенностями; так, например, горох и вика отличаются от злаков большей чувствительностью к реакции среды, поэтому они хуже переносят физиологически кислые соли аммония, как NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$, чем злаки; или являются более чувствительными к физиологической неуравновешенности раствора, вызываемой отсутствием кальция.

Поэтому мы в опытах с этими растениями вводили всегда и такие варианты, в которых к солям аммония добавлялся углекислый кальций, и это оказалось существенным условием для синтеза аспарагина у растений II группы.

Данные для Vicia sativa (опыт Г. И. Ритмана) показывают, что синтез аспарагина шел только при наличии $CaCO_3$, причем в этом случае весь усвоенный азот оказался отложенным в виде аспарагина (см. таблицу на стр. 41).

Совершенно аналогичные результаты были получены в опытах с горохом, которые были начаты Шуловым и, как выше сказано, дали отрицательный результат. При продолжении этих опытов И. Е. Дабаховым были

Опыт с Vicia sativa

В 100 растениях содержалось (в мг)	I Вода	II NH_4Cl	III $NH_4Cl+CaCO_3$	Разность между III и I
Всего азота	221	244	264	+42
Азота белков	85	109	90	+5
» аминокислот	59	51	54	−5
» аспарагина	76	73	118	+42
» аммиака	0,9	0,9	1,0	+0,1

введены варианты с добавкой $CaCO_3$, с одной стороны, и $CaSO_4$ — с другой; сделано это было с целью различить нейтрализующее влияние $CaCO_3$ от действия иона кальция как фактора уравновешенности питательного раствора. Вот часть полученных при этом данных:

В 100 растениях содержалось (в г)	Вода	$NH_4Cl+CaCO_3$	$NH_4Cl+CaSO_4$
Всего азота	1,608	1,810 (или +0,202)	1,764 (или +0,156)
Азота белков	0,949	1,016 (+0,067)	0,993 (+0,044)
» аспарагина	0,258	0,441 (+0,189)	0,375 (+0,117)
» аммиака	0,010	0,007	0,011

Отсюда видно, что в присутствии соединений кальция синтез аспарагина имел место (в виде этого соединения отложена большая часть поступившего аммиака) и что введению Ca как антагониста аммония (в виде $CaSO_4$) принадлежит значительная доля положительного влияния; однако если к этому присоединяется еще нейтрализующее действие, как в случае $CaCO_3$, то процесс синтеза аспарагина протекает еще энергичнее.

В качестве объекта, бедного углеводами, мы взяли прежде всего люпин; семена этого растения, чрезвычайно богатого белками, не содержат вовсе крахмала, углеводы представлены лишь галактанами, отложенными в клеточных стенках, и при прорастании люпин очень скоро начинает страдать от недостатка углеводов. При питании в течение 10 дней аммиачными солями в проростках люпина образования аспарагина не наблюдалось (опыты Шулова, 1912); мало того, введение с аммиаком таких кислот, как серная и соляная, подавляет у люпина синтез аспарагина за счет «собственного» аммиака [см. ниже о подобном же подавлении синтеза мочевины в печени при введении $(NH_4)_2SO_4$], аммиак накопляется как таковой; при этом, в отличие от гороха и вики, введение $CaCO_3$ не ис-

правляет этого нарушения синтетической функции у проростков люпина, а наоборот — аспарагина образуется еще меньше. Это видно из следующих цифр.

Опыт с проростками Lupinus luteus

В 100 растениях содержалось (в мг)	I Вода	II $(NH_4)_2SO_4$	III $(NH_4)_2SO_4+CaCO_3$
Общего азота *	567	575	535
Азота белков	152	160	170
» аспарагина	258	175	158
» аммиака	26	57	68

* Так как в то время считалось, что при сушке ростков люпина потерь азота не происходит (данные лаборатории Э. Шульце для ростков люпина, не получающих азота извне), то мы первоначально все анализы проводили на высушенных ростках; но затем оказалось, что при питании NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$ ростки богаты аммиаком (часть которого содержится, очевидно, в виде бикарбоната), так как при сушке наблюдаются значительные потери; поэтому цифры для содержания аммиака (и общего азота) в этих опытах понижены, и только цифры для содержания белков и аспарагина не зависели от потерь аммиака при сушке.

Такие же результаты получили для люпина и при питании хлористым аммонием (опыт О. Н. Кашеваровой).

Но тогда у нас возник вопрос, насколько здесь еще играют роль и видовые различия и насколько — наличие углеводов; если все дело в углеводах [58*], то достаточно лишить ячмень углеводов или подкормить люпин углеводами, чтобы различия между этими растениями сгладились.

[58*] Если мы говорим о недостатке углеводов как факторе, вызывающем аммиачное отравление у люпина и подобных ему растений, то нужно различать два случая: 1) крайнее голодание, когда дезаминирование и дезамидирование вызваны полным истощением углеводов; это констатировано В. С. Буткевичем; 2) случай сопряженного влияния избыточной кислотности на фоне относительного недостатка углеводов. Сюда относятся упомянутые в тексте данные Шулова и Кашеваровой. Что недостаток углеводов в этом случае является только относительным, показывают следующие данные из проведенных в нашей же лаборатории опытов А. Г. Николаевой, в которых получались другие результаты, если вместе NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$ брали соли аммония с не столь резко выраженной физиологической кислотностью и тем более мочевины, дающие возможность питать растения аммиаком, не вводя никакой кислоты, кроме угольной (в растении мочевина переходит в углекислый аммоний). Вот пример:

Источник азота	Азот аспарагина на 100 ростков (в мг)	Источник азота		Азот аспарагина на 100 ростков (в мг)
0	168,9	$(NH_4)_2HPO_4$		398,3
NH_4NO_3	354,3	$CO(NH_2)_2$	а)	488,3
$NH_4H_2PO_4$	377,8		б)	502,1

Превратить прорастающий ячмень в растение, бедное углеводами, можно двояко: или применить путь хирургический — удалить эндосперм, или чисто физиологическим путем вызвать недостаток углеводов — подольше выдержать ячмень в темноте. Оба пути были использованы нами и с одинаковым успехом: обедненные углеводами проростки ячменя вели себя по отношению к аммиачным солям совершенно так, как проростки люпина,— в них накоплялся аммиак, а не аспарагин, если им давались аммиачные соли.

Вот результат опыта А. И. Смирнова с ростками ячменя, которые были выдержаны в темноте 21 день (вместо 10 дней, как было в опыте Шулова):

	I Вода	II NH_4Cl	III $NH_4Cl+CaCO_3$
Всего азота (в мг)	163	202	242
Азота белков »	81	95	87
» аспарагина »	45	57	37
» аммиака »	4	41	73

Здесь характерно накопление аммиака и убыль аспарагина в случае III.

С люпином был проведен обратный опыт — снабжение его углеводами. Проще всего это сделать, проращивая люпин на свету,— тогда ассимиляция вызовет обогащение его крахмалом. Оказалось, что при прорастании на свету люпин ведет себя как ячмень (или любой другой злак) — при питании аммиаком растения образуют аспарагин. Вот пример:

	I Вода	II NH_4Cl	III $NH_4Cl+CaCO_3$
Всего азота (в мг)	885	968	978
Азота белков »	617	521	617
» аспарагина »	151	291	227
» аммиака »	20	35	24

Но так как в этом опыте с люпином было замешано влияние света, а опыты с другими растениями производились в темноте, то были поставлены еще два ряда контрольных опытов, в одном из которых люпин получал углеводы без света, а в другом — свет, но без возможности образовать углеводы.

Отсюда видно, что то же растение (желтый люпин) и при той же продолжительности опыта могло образовать значительные количества аспарагина, если физиологическая кислотность смягчалась (по сравнению с NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$) или совсем устранялась. Но очевидно, что если взять более поздний возраст, то NH_4NO_3 даст тот же результат, как $(NH_4)_2SO_4$ в возрасте более раннем (об опытах Николаевой см. в моей статье «Аммиак как альфа и омега», 1916, в сборнике, посвященном К. А. Тимирязеву, а также см. Избр. сочинения, т. I. Изд. АН СССР, 1955, стр. 313).

Опыт с питанием этиолированных ростков люпина глюкозой в стерильных культурах был проведен в моей лаборатории Смирновым [59*] в 1918 г., причем была использована (с известными изменениями) методика Г. Г. Петрова. Оказалось, что введение глюкозы увеличивает количество аспарагина и уменьшает содержание аммиака.

Это видно из следующих цифр:

В 100 растениях содержалось (в мг)	$(NH_4)_2SO_4+CaCO_3$	То же + глюкоза
Всего азота	1002	1249
Азота белков	216	380
» аспарагина	490	619
» аммиака	123	82

Опыт с люпином на свету, но без доступа CO_2, проведен был О. Н. Кашеваровой. Для этого люпин выращивался под стеклянными колпаками, в которых ставились стаканчики с раствором NaOH. Результаты анализов совпадали с теми, которые были получены при проращивании люпина в темноте, при отсутствии глюкозы, хотя морфологически и те и другие ростки были совершенно различны (на свету ростки имели вполне развитые листья нормальной зеленой окраски, но это не мешало им заболевать аммиачным отравлением).

Опыт с желтым люпином (на свету, но без CO_2)

	Содержание азота в 100 проростках (в мг)				Вес 100 проростков (в г)
	общий азот	азот белка	азот аспарагина	аммиачный азот	
Вода	883,7	166,6	236,9	124,4	7,29
Раствор NH_4Cl	853,9	159,1	231,1	125,5	7,10
100 семян	—	—	—	—	8,57 *

* Понятно, что при данной постановке опыта (без CO_2) не могло быть прироста органического вещества, и поэтому вес 100 проростков меньше веса 100 семян.

Таким образом, переработав ряд комбинаций, мы выяснили, что решающим фактором в синтезе аспарагина за счет введенного извне аммиака

[59*] Из результатов вегетационных опытов, т. XI, 1918. См. также: A. I. Smirnow. Ueber die Synthese der Säureamide in der Pflanzen bei Ernährung mit Ammoniaksalzen. Biochem. Zeitschr., Bd. 137, 1923.

являются углеводы, а не свет. Вот сводная табличка, резюмирующая наши опыты в этом отношении.

Условия опыта		Результаты		Условия опыта		Результаты	
углеводы	свет	синтез аспарагина	накопление аммиака	углеводы	свет	синтез аспарагина	накопление аммиака
+	–	+	–	+	+	+	–
–	–	–	+	–	+	–	+

Эту табличку при поездке в 1927 г. я встретил вывешенной на стене в лаборатории профессора Меркеншлягера в Берлине (Biologische Reichsanstalt), ее воспроизводит Чибнелл в своей монографии [60*], Мурник в своей итоговой работе об аспарагине [61*] и Виккери в своей вводной статье к исследованию о химических превращениях азотистых веществ в листьях табака [62*].

Из совокупности вышеприведенных данных наших опытов вытекала моя краткая итоговая формулировка: аммиак есть альфа и омега в обмене азотистых веществ у растений, т. е. с него начинается синтез, им кончается распад, и снова он вовлекается в круговорот, если есть налицо безазотистый материал. Свет для синтеза аспарагина не нужен, но синтез белков идет главным образом на свету [63*] за счет как аминокислот, так и амидов (см. данные одного из наших опытов в графическом изображении — рис. 5 на стр. 46).

Все эти явления я попытался охватить в следующей схеме (рис. 5), изображающей некоторый круговой процесс; правая половина отвечает процессам распада, происходящим в темноте (или на свету, если лишить растение CO_2), левая отвечает стадии преобладания синтеза (на свету или при обильном питании углеводами).

Белок как исходный материал при распаде и конечный продукт при синтезе объединяет обе половины круга; справа, в зоне регрессивного метаморфоза, имеем сначала гидролитический распад до аминокислот, затем

60* Chibnell. Protein Metabolism in the Plant. London, 1939, p. 103.

61* Murneek. Physiological role of asparagine, etc.— Plant Physiology, 1935, 447.

62* Vickery. Amide Metabolism in Plant. стр. 762 бюллетеня № 399 опытной станции в Коннектикуте (Chemical Investigation of the Tobacco Plant, 1937). Эту главу Виккери Чибнелл характеризует как «the excellent summary of Prianishnikow's work» — [Превосходное резюме работы Прянишникова] (стр. 98).

63* Если Г. Г. Петрову удалось доказать наличие синтеза белка в темноте при питании кукурузы глюкозой и аммиаком, то количественная сторона оставляла желать очень многого (Г. Г. Петров. Усвоение азота высшими растениями, 1918).

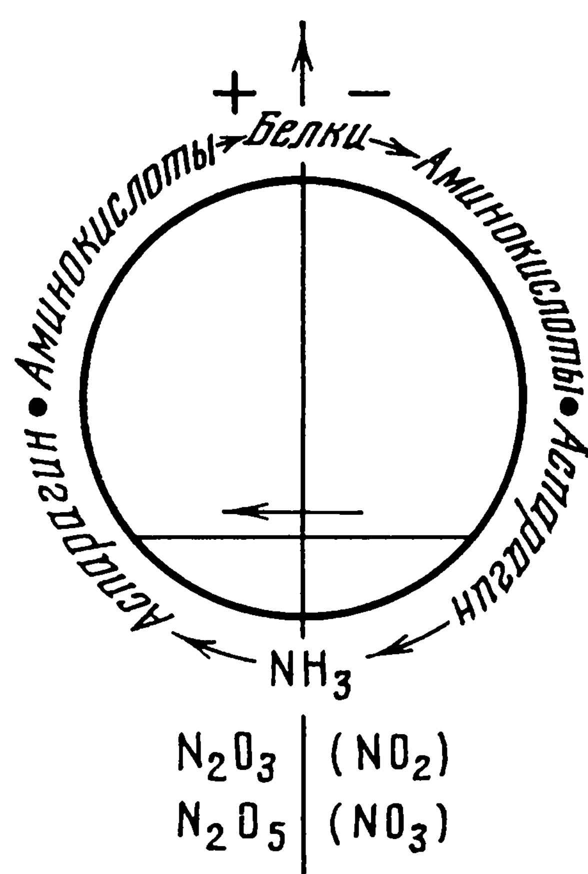


Рис. 5. Превращение азотистых веществ в растении

окислительные процессы приводят к образованию аспарагина (скрытый аммиак отмечен черным кружком), если голодание продолжится и углеводов больше нет, то начинает сгорать углеродная цепочка аспарагина, аммиак становится явным, и, если вовремя не будет дан свет, растение погибает от аммиачного отравления. Слева имеем зону синтеза на свету, при достаточном питании углеводами: аммиак, как «свой», так и извне поступивший (или образовавшийся из поступивших нитратов), идет на образование аспарагина (или глютамина); дальше как амидная, так и аминная группы аспарагина используются для синтеза аминокислот, они увязываются в белковую цепочку, и так завершается круг превращений.

Как выше было отмечено, я в 1894 г. извлек из забвения давнее сравнение аспарагина с мочевиной, данное Буссенго, но затем отвергнутое под влиянием идей Пфеффера,— оба амида оказались формой обезвреживания аммиака, образующегося при окислительном распаде аминокислот. Впоследствии я не раз возвращался к этому сравнению с тем, чтобы его углубить и продолжить, пользуясь постепенно накоплявшимся материалом. Так, в 1912 г. я писал: «Мы видели выше, что не все растительные организмы одинаково чувствительны к солям аммиака, именно у низших (по крайней мере у грибов) замечается способность переносить накопление значительных количеств этих солей. Оказывается, что и низшие животные точно так же доводят распад белков до аммиачных солей, не превращают их вполне в амиды и выделяют в большей или меньшей мере как таковые. Приведем здесь следующее сопоставление, заимствованное из книги Пютера[64*].

	Из всего N выделений приходится на NH_3 (в %)		Из всего N выделений приходится на NH_3 (в %)
Actinia	100	Каракатица	18,6
Пиявка	62–67	Гусь	25,0
Рак	28–38	Ехидна	7,5
Ascaris	33,3	Собака	4,3

В общем, чем выше стоит животное по организации, тем меньшую непосредственную роль играет аммиак среди продуктов распада белков и

[64*] Pütter. Vergleichende Physiologie. Более подробные и более новые данные см. в книге профессора Коштоянца «Основы сравнительной физиологии», 1940.

больше значения приобретают амидные (или имидные) группы тех или иных более сложных азотистых производных, у разных групп также не тождественных. Так, мочевина, по-видимому, более свойственна позвоночным (а быть может, даже ее распространение ограничено позвоночными), мочевая кислота более регулярно встречается, начиная с насекомых, у моллюсков она встречается не всегда; ее вовсе нет у пауков и ракообразных, где ее заменяет гуанин, весьма распространенный у моллюсков.

Интересен факт, что у насекомых (Calliphora, мясная муха) наблюдали в стадии личинки обильное образование аммиака (69—82% всего азота выделений), отчасти аминов, причем мочевая кислота отсутствовала; с момента же окукливания выделение аммиака совершенно прекращается и начинается ясное образование мочевой кислоты наряду с другими, пока ближе не исследованными, продуктами» [65*].

Постепенно удавалось установить все новые и новые черты сходства в обмене веществ у растений и животных. Оказалось, что подобно тому как у люпина введение аммиака в соединении с сильными кислотами вместо увеличения количества аспарагина (как это имеет место у злаковых) вызывает уменьшение его количества, подавляя синтетические процессы, так и в животном организме введение $(NH_4)_2SO_4$ подавляет образование мочевины, а при пропускании через кровеносную систему печени раствора бикарбоната аммония наблюдается повышение образования мочевины [66*].

Этот факт побудил меня провести опыты питания растений бикарбонатом аммония (с добавочным введением CO_2 так, чтобы pH снизилось до 6,5), и опыт показал, что этот способ является наилучшим для введения аммиака в организм растений. И наоборот, мне удалось на основании данных физиологии растений предсказать, что у животных влияние анестезирующих средств должно подавлять синтез мочевины и увеличивать количество аммиака в моче. Когда я высказал это предположение в одном из моих визитов к Абдергальдену, он сказал: «Это весьма возможно, такой опыт должен сделать ваш Лондон» [67*]. Но вскоре после этого разговора появилось сообщение Лефлера в Biochemische Zeitschrift (Bd. 150), который дал фактическое подтверждение этому моему предположению.

Далее было обнаружено Н. Н. Ивановым, что и в растительном царстве у некоторых бесхлорофильных растений обезвреживание аммиака происходит, как и у животных, путем образования мочевины [68*], причем мо-

---

[65*] Единство строения и основных превращений белковых веществ в растительном и животном организме (Журнал опытной агрономии, 1912).

[66*] Rumpf, Kleine. Zeitschrift für Biologie, Bd. 34.

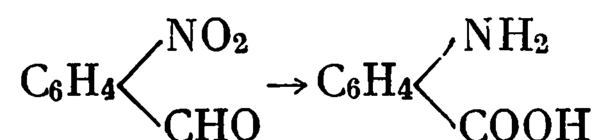
[67*] Лондон — ленинградский физиолог.

[68*] Присутствие мочевины у некоторых грибов (Basidiomycetes) наблюдал Бамбоигер еще раньше, в 1903 г., но он полагал, что она поглощена ими извне (из экскрементов животных); работы Иванова (см. в Biochemische Zeitschrift, 1923—1927) опровергли это объяснение. Вопроса об обнаружении мочевины у грибов касается также Кизель (Ergebnisse der Biologie, II, 1926).

чевина может накопляться в значительном количестве (например, 10,7% сухого вещества у Lycoperdon) ввиду отсутствия органов выделения. Далее Иванов показал, что, введя извне аммиак, можно вызывать образование мочевины у грибов, а вводя глюкозу, уменьшать ее количество.

Таким образом, грибы могут приближаться к животному организму по способности сжигать углеродную цепочку до конца, до углекислоты, не подвергаясь опасности аммиачного отравления, в то время как зеленые растения в нормальных условиях могут не доводить окисления до конца и привязывать аммиак к четырех- или пятиуглеродной цепочке. И если при крайнем голодании им приходится ее сжигать, то они страдают от аммиачного отравления вследствие неспособности образовать мочевину.

Если все эти данные по сходству обмена веществ у животных и растений касались конечных ступеней (стадии «омеги»), то затем появились данные, относящиеся к начальным ступеням синтеза (стадия «альфы»). Так, в 1912 г. Эмден показал, что если вводить в кровеносную систему печени кетонокислоты и оксикислоты, то они с аммиаком образуют соответственные аминокислоты [69*]. Мало того, оказывается, что и способность восстановления группы NO_2 до NH_2 не утрачена животными: при введении в организм нитробензола получается аминофенол, а при введении нитробензойного альдегида — аминобензойная кислота [70*].



Но естественно, что в животном организме стадия начального синтеза осталась лишь в зачаточном состоянии, так как животное получает готовые белки в пище; оно только «распускает кружево» инородного белка, освобождая с помощью ферментов весь набор аминокислот, и затем вяжет из них «свое кружево» («arteigene Stoffe» Абдергальдена) [71*].

Я выше упоминал, что мне в дни моей молодости пришлось оказаться в конфликте с общепризнанным в Европе авторитетом — Пфеффером и быть, можно сказать, на время «отлученным от церкви» в качестве ерети-

---

69* Biochemische Zeitschrift, Bd. 32, 1912; при этом промежуточным продуктом являются аминокислоты.

70* См. ниже о работе Гуревича.

71* Вопросу об единстве превращения азотистых веществ у растений и животных посвящено мною, кроме упомянутой статьи в «Журнале опытной агрономии» за 1912 г., еще несколько статей и докладов, из них наиболее подробным является доклад «Ueber Einheitlichkeit der Principien in Stickstoffwechsel bei Pflanzen und Tieren», сделанный в Берлине в 1927 г., во время так называемой «Недели русских ученых», напечатанный затем в сборнике «Die Naturwissenschaft in der Sowiet-Union» (стр. 215—265), изданном Deutsche Gesellschaft z. Studium ost-Europas, 1929.

Кроме того, см. мои статьи на ту же тему в Научно-агрономическом журнале за 1924 г., в сборнике, посвященном профессору Стоклаза (Festschrift etc., Berlin, 1928, Ueber Umsatz der stickstoffhaltige Stoffe bei Pflanzen und Tieren), в сборнике «Проблемы белка» (Биомедгиз. Москва, 1936), а также некоторые страницы в моей статье в журнале Pflanzenernährung, Dungung und Bodenkunde, Bd. 33, 1934.

ка. В то время моим единомышленником оказался, кажется, только Оскар Лев, профессор университета в Токио (и то лишь отчасти). Хотя я печатал свои работы в достаточно распространенных журналах (Berichte der Deutschen Botan. Gesellschaft, Landwirtschaftl. Versuchs Stationen), но в школах доминировал учебник Пфеффера. Так дело шло до самой войны (1914 г.) и последующего за ней перерыва связей с заграницей. Только в 1922 г. мне пришлось снова попасть в Германию, восстановить связи, издать в Берлине свой учебник, и лишь в 1923 г. появилась моя обзорная статья в Landwirtschaftliche Versuchs Stationen (на тему «Аммиак как альфа и омега») [72*].

В это время Пфеффера уже не было в живых, а его заместитель профессор Рулянд обратился ко мне с просьбой прислать ему оттиск моих статей, в том числе оригиналы русских работ (обе диссертации и пр.), чтобы ознакомиться с ними подробнее [73*].

Рулянд организовал в своей лаборатории серию работ, в которых повторялась моя тематика, но, чтобы не делать того же самого, взят был другого рода объект — не молодые проростки, но листья различных растений. Получалась та же самая картина, как и в моих опытах [74*].

[72*] Такая обобщающая статья, подводящая итоги работ за ряд лет, на русском языке была напечатана мною еще в 1916 г. (см. сборник работ, посвященный К. А. Тимирязеву его учениками), но по условиям военного и революционного времени она не могла появиться в Германии ранее 1922 г.

[73*] Здесь, по-видимому, помогло случайное обстоятельство: говорят, что жена профессора Рулянда — грузинка, хорошо знающая русский язык.

[74*] Заметим, что относительно образования аспарагина в листьях при голодании были работы еще задолго до того, как Рулянд начал работать в этом направлении. Один из японских учеников Оскара Лева — Мийоши в 1897 г. напечатал работу «Can old leaves of plant produce asparagine by starvation?», в которой сообщил данные о влиянии голодания на обмен азотистых веществ в листьях. Вот пример из его опытов с листьями Paeonia albiflora (в % от всего азота):

	До опыта	После пребывания в темноте
Азот белков	96,19	54,79
» аспарагина	2,71	14,09
То же для листьев чая:		
азот белков	82,01	62,98
» аспарагина	5,78	21,75

В опытах с молодыми листьями, соответственно более энергичному дыханию, аспарагина накоплялось также больше, чем в опытах со старыми листьями. В свое время работы Мийоши явились подтверждением взгляда Бородина, который наблюдал образование аспарагина не только при прорастании семян (как Пфеффер), но и в ряде других органов, если только растения истощили запас углеводов. Но, конечно, эта ссылка на работы Бородина и Мийоши сделана нами не ради уменьшения значения работ школы Рулянда, проведенных в широком масштабе и с усовершенствованной методикой (количественное определение глютамина в присутствии аспарагина, краткосрочные опыты питания листьев аммиаком по методу инфильтрации и т. п.).

Так, в самой лаборатории Пфеффера преемником его по кафедре Руляндом подтвержден был мой взгляд на образование аспарагина (и глютамина) как на способ обезвреживания аммиака, образующегося в растении (а это и означает, что аспарагин у этиолированных проростков играет ту же роль, что мочевина у животных).

Кроме школы Руляндa подтверждение и развитие тех же взглядов на аспарагин и глютамин мы имеем в работах Чибнелла (Chibnall) и его школы (Лондон, кафедра биохимии), Мурника (Murneek, США), Виккери (Vickery, США, Коннектикут). И можно сказать, что взгляд на значение аспарагина и глютамина, высказанный мной в 1894—1897 гг. и встретивший тогда отрицательное отношение со стороны Пфеффера и его последователей, через четверть века стал общепризнанным. Но, кроме подтверждения моих давних воззрений, работы школы Руляндa принесли и нечто новое.

Как правило, у высших растений обезвреживание аммиака достигается путем образования соединений двойной функции — амидов аминокислот общей формулы $RCH(NH_2)CONH_2$ (причем и мочевина, типичная для высших животных, может быть рассматриваема так же, как моноамид аминомуравьиной или карбаминовой кислоты, а не только как диамид угольной кислоты). Но все же имеются исключения, а именно встречается обезвреживание аммиака путем создания очень кислой среды, причем речь идет о специфической приспособленности к таким низким ступеням pH (до 1,2), которые для большинства высших растений являются смертельными. Кислая среда подавляет диссоциацию аммиачных солей, в ней возможно образование кислых солей дикарбоновых кислот, как щавелевая и яблочная; но для этого растение должно обладать особенной способностью не только переносить кислую среду, но и создавать тем больше кислоты, чем больше в него поступает аммиака, так, чтобы кислота всегда имела значительный перевес над аммиаком. Такая особенная группа растений (Säurepflanzen, они же Ammoniakpflanzen) была открыта Руляндом и Ветцелем (1936), типичным представителем ее является Begonia с реакцией клеточного сока в 1,2—1,5 pH. При аммиачном питании Begonia накопляла, например, 30,8 мг аммиачного азота на 100 г сырой массы, а при питании мочевиной (0,5%-ный раствор), обладающей чрезвычайно высокой способностью проникновения в клетку (и в ней распадающейся с образованием углекислого аммиака), накопилось за 3 дня 132 мг аммиачного азота на 100 куб. см клеточного сока, без признаков какого бы то ни было вреда для растения (а 132 мг азота отвечают почти децинормальному раствору аммиачной соли), в то же время фасоль, имеющая pH клеточного сока около 5,6, погибала уже от 0,1%-ного раствора мочевины.

Последующие исследования показали, что группа «аммиачных» растений Руляндa не стоит особняком, но что между этой группой и обычным типом «амидных» растений существует связь через ряд промежуточных форм. Однако это не меняет основного факта, тем более что в переход-

ных формах, содержащих как амидный, так и аммиачный азот, наблюдается вполне закономерное соотношение между этими двумя формами, изменяющееся сообразно pH клеточного сока.

Обстоятельная работа в этом направлении выполнена Кульчером [75*] в той же лаборатории Рулянда.

Определяя содержание аммиачного и амидного азота у разных растений (отчасти даже и в разных органах одного и того же растения), Кульчер находил, что отношение амидного азота к аммиачному является очень низким у растений, имеющих pH от 1,2 до 3,5,— здесь аммиак господствует. Кроме Begoniaceae сюда относятся некоторые виды Rumex и Geranium, но среди того же рода Geranium есть виды, у которых pH лежит между 4 и 5 и которые занимают переходное положение; и, наконец, у большинства высших растений с pH, равным 5—6 и выше, мы видим такое преобладание амидного азота над аммиачным, что на последний приходится лишь одна пятидесятая часть от первого. Вот несколько примеров, характеризующих эти соотношения.

	pH	NH_3 *	$CONH_2$ *	$\frac{CONH_2}{NH_3}$
Begonia hydrocot	1,29	168,0	9,7	0,05
Oxalis deppei	1,42	84,0	35,4	0,40
Rumex scutatus	2,61	554,0	136,0	0,24
» obtusifolins	3,58	295,0	65,0	0,22
Geranium macrorhizum	3,97	120,0	35,0	0,28
Pelargonium zonale	4,14	105,0	67,0	0,64
Geranium sanguineum	4,68	151,0	589,0	3,91
» aconitif	4,99	53,5	288,0	5,32
Lupinus albus (Hypoc.)	4,33	11,2	2298,0	210,00
» » (стебель)	5,60	7,3	410,0	56,00
Phaseolus multiflorus	5,60	38,1	1740,0	48,00

* В мг N на 1 кг сырой массы.

В качестве примера изменения названного отношения в разных органах того же растения приведем данные для Oxalis Deppei

	pH	NH_3	$CONH_2$	$\frac{CONH_2}{NH_3}$
Листья	1,29	13,7	50,0	3,6
Клубни	4,5	5,0	93,9	19,0

Совершенно последовательно различие между двумя группами растений (или частей их) сказывается при введении в них аммиака извне.

[75*] Kultzscher. Die biologische Ammoniak-Entgiftung in höheren Pflanzen.— Planta, Bd. 17, H 4 (700).

В одном из опытов листья различных растений погружались черешками на 4 дня в раствор $(NH_4)_2SO_4$ крепостью в 0,3% (с добавкой $CaSO_4$ 0,15%). Begonia переносила такой раствор безнаказанно, у Phaseolus же были заметны резко выраженные признаки аммиачного отравления, несмотря на то что у Begonia большая часть аммиака оставалась непотребленной, а у Phaseolus много аммиака пошло на образование амидов. Если долю аммиака, перешедшего в форму NH_2, выразить в процентах от всего поглощенного аммиака, то получается такая последовательность [76*].

Растение	pH	Содержание N (в мг)				NH_3, перешедший в $—CONH_2$, %
		контроль		питание $(NH_4)_2SO_4$		
		NH_3	$—CONH_2$	NH_3	$—CONH_2$	
Begonia semp.	1,46–1,51	0,22	0,00	8,8	1,2	12
Geranium macr.	3,62–3,69	0,17	0,37	14,0	3,2	17
Pastinaca sat.	5,0–5,68	0,15	0,43	12,8	17,6	58
Phaseolus mult.	5,59–5,62	0,21	1,03	16,2	20,4	55

Здесь видно, что, чем кислее сок у данного растения, тем менее оно наклонно к образованию амидов, Begonia занимает в этом отношении первое место, у нее количество аммиачного азота в 7 раз превышает количество азота амидного, Geranium стоит посредине, а у Pastinaca и Phaseolus с реакцией сока, отвечающей pH 5 и выше, образование амидов уже превышает накопление аммиака (этот перевес был бы еще больше, если бы растения, по условиям опыта, не были перекормлены аммиаком до того, что начали страдать: бурая окраска по краям листьев у Pastinaca, завядание у Phaseolus).

Интересен опыт с питанием листьев растений различных типов аспарагином [77*]; в нем ясно обнаруживается, что «аммиачные» растения не только не наклонны к образованию амидов за счет аммиака, но и при введении готовых амидов они их разрушают с освобождением аммиака, и этот процесс идет тем энергичнее, чем ниже pH клеточного сока этих растений. Опыт с введением аспарагина проведен был в стерильной среде. Листья растений с различным pH клеточного сока в течение двух дней питались раствором аспарагина (0,3%), затем 4 дня выдерживались на воде; результаты представлены в следующей таблице.

76* Kultzscher. Там же, стр. 738.
77* Kultzscher. Там же, стр. 744.

Растение	pH	Содержание N (в мг)				Из поступившего аспарагина разрушено (в %)
		контроль		питание аспарагином		
		NH_3	$CONH_2$	NH_3	$CONH_2$	
Begonia semp.	1,46–1,51	0,22	0,00	2,5	4,0	36
Rumex crispus.	3,26–4,03	1,85	0,00	13,0	10,0	52
Geranium macr.	3,62–3,69	0,17	0,37	2,6	13,9	15
Pastinaca sat.	5,00–5,68	0,14	0,43	0,7	21,0	2,6
Phaseolus mult.	5,59–5,62	0,21	1,03	0,3	19,4	0,5

Мы видим, что «амидные» растения, имеющие pH клеточного сока 5 и выше, сохраняют в основном поглощенный аспарагин как таковой, а «аммиачные» растения с кислым клеточным соком энергично его разрушают благодаря процессам дезамидирования и дезаминирования (кроме реакции самой по себе, здесь, очевидно, играют роль еще индивидуальные свойства растений, вероятно, связанные с особенностями работы ферментов у Rumex). Geranium как промежуточный тип по способности накоплять аммиак стоит посредине также и по энергии разрушения введенного извне аспарагина.

Это сопоставление различных растений с разной реакцией клеточного сока в опыте Кульчера (1932) весьма напоминает нам результаты одного предварительного опыта, проведенного у нас почти на 20 лет раньше, с влиянием разных степеней кислотности внешнего раствора на содержание амидного и аммиачного азота у одного и того же растения. В этом опыте, проведенном О. Н. Кашеваровой[78*] в 1914 г. с проростками желтого люпина, растения не получали извне никакого источника азота; прорастание (на сетке) шло в течение 10 дней, при этом к дистиллированной воде прибавлялись различные количества серной кислоты, так что ее концентрация возрастала от $5 \cdot 10^{-4}$ до 10^{-3} н.; результаты получились следующие (в мг на 100 растений):

		Азот аспарагина	Азот аммиака	Отношение
Вода		414,5	45,8	9,0
Раствор H_2SO_4	0,0005 н.	440,4	55,4	8,2
	0,0007 »	443,6	87,6	5,6
	0,001 »	389,5	96,5	4,0

[78*] Эта работа не была тогда напечатана, но ее результаты были мною использованы в обзорной статье «Аммиак, как альфа и омега обмена азотистых веществ в растении», 1916 (Тимирязевский сборник).

Из цифр таблицы видно, что при возрастании концентрации кислоты у люпина наблюдалось то же падение отношения амидного азота к аммиачному, которое наблюдал Кульчер при сопоставлении ряда различных растений с различной (от природы) реакцией клеточного сока.

Этот опыт не был тогда продолжен, теперь же нужно признать его заслуживающим продолжения, так как приведенными данными (наряду с многими нашими наблюдениями) намечается вероятность экспериментального превращения «амидного» растения в «аммиачное» [79*].

Возвращаясь от исключения к правилу, от «аммиачных» растений с необычно кислым соком к типичному пути обезвреживания аммиака посредством образования амидов, мы должны остановиться па последующих работах Иемма и Мотеса (Yemm, Mothes), получивших интересные данные при более детальном изучении превращения азотистых веществ в листьях.

Но мы сначала должны сказать о том существенном усовершенствовании методики, которое позволило макрохимически различать оба амида (аспарагин и глютамин) один от другого и количественно определять их химическими методами при одновременном их присутствии, тогда как прежде только по характеру кристаллизации судили о том, с каким амидом имеют дело, а количественное определение ничего не говорило о природе самого амида.

Известно, что по методу кристаллизации, качественно очень ценному, но не дающему хороших количественных показателей, было проведено деление растений на две группы: одни накопляют при распаде белков аспарагин (спаржа, люпин, горох и другие бобовые), другие — глютамин (тыква, свекла и пр.). Но в последнее время разработана методика количественного определения, основанная на гораздо большей легкости гидролиза глютамина, чем аспарагина, что позволило определять глютамин в присутствии аспарагина, ведя гидролиз при различных pH раствора [80*].

[79*] В сущности те явления, которые Шулов наблюдал в опытах с люпином (стр. 41), видимо, также можно рассматривать как случай превращения «аспарагинового» растения в «аммиачное» под влиянием кислотности, в данном случае вызванной физиологическими причинами — питанием NH_4Cl или $(NH_4)_2SO_4$. Но здесь замешано еще одно обстоятельство — трата углеводов ростками люпина за 10-дневный срок опыта, так что через 10 дней мы имеем дело уже с иным состоянием растения, чем вначале. Смену процессов нужно представить так: вначале, еще имея некоторый запас углеводов, люпин ассимилирует аммиак и накопляет аспарагин, раствор становится кислым. Очевидно, на какой-то стадии подкисления наступает равновесие между синтетическими процессами и тенденцией к дезаминированию под влиянием кислотности. Но при дальнейшей трате углеводов в процессе дыхания равновесие не удерживается, дезамидирование и дезаминирование берут верх, люпин начинает переполняться аммиаком и погибает от аммиачного отравления (примеры этой связи между углеводным режимом и отношением к кислотности мы еще увидим ниже).

[80*] Именно глютамин гидролизуется за один час кипячения при pH раствора от 6,4 до 6,8; аспарагин же разлагается при кипячении с 5% H_2SO_4 (т. е. при pH ниже 3), которое раньше применялось для суммарного определения обоих амидов (подробнее см., например, у Мотеса — Planta, Bd. 30, 730, 1940).

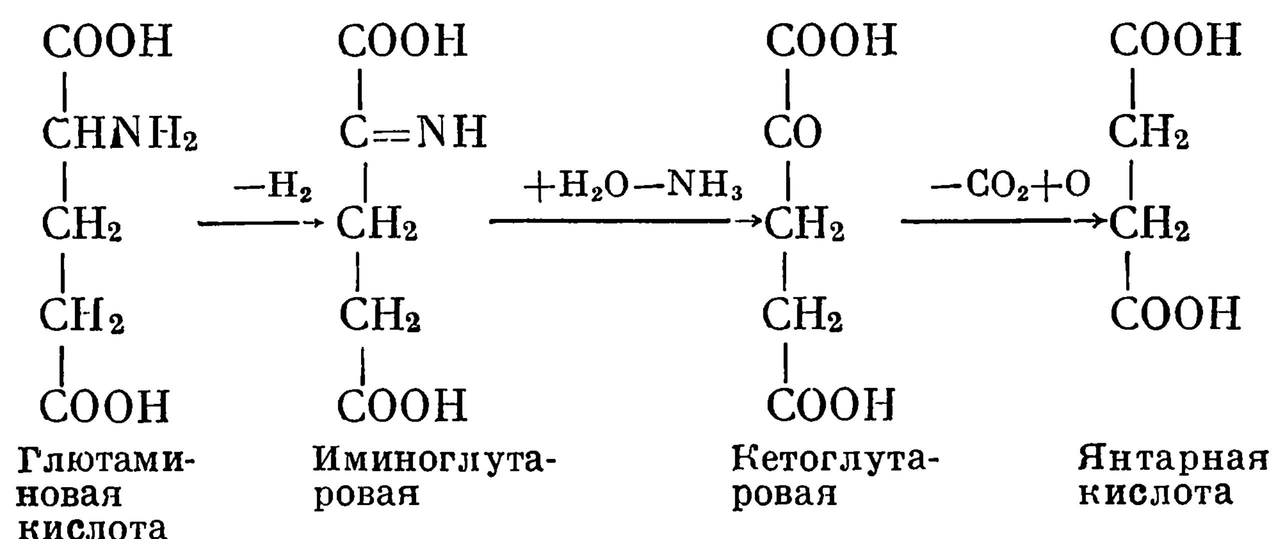
Применение этой методики показало, что деление растений на «аспарагиновые» и «глютаминовые» не может быть строго проводимо и что во всех исследованных объектах содержатся оба амида, но количественно в одних преобладает аспарагин, в других — глютамин; однако отношение это непостоянно, смотря по тому, какие органы растения исследуются и в каком возрасте. Так, у классического «аспарагинового» растения, от которого аспарагин получил самое название, у спаржи (Asparagus) Шваб[81*] обнаружил, что в корневищах содержалось больше аспарагина (17,07%), чем глютамина (9,82%), а в зеленых частях — наоборот: 1,70% глютамина и 1,06% аспарагина (точнее, азота в виде данного амида — в процентах от всего азота).

В проростках некоторых растений оба амида представлены равномерно, в других же случаях замечается преобладание одного из них над другим. Вот несколько примеров из упомянутой работы Шваба:

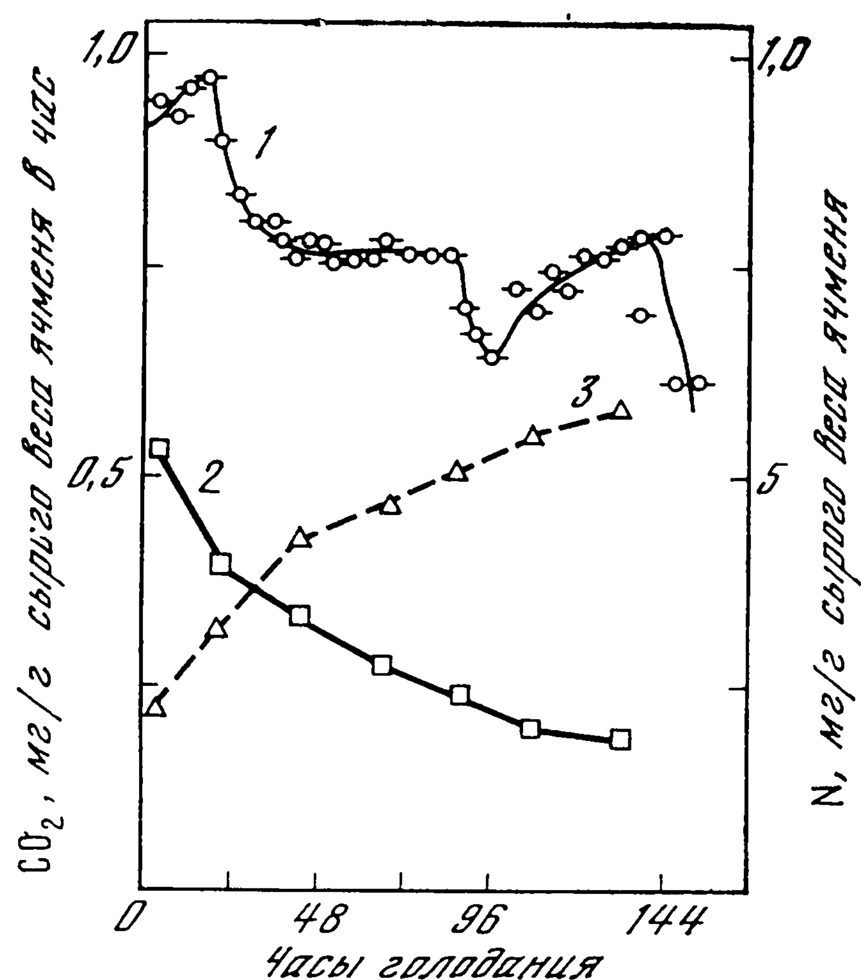
В % от общего азота приходится на:	N аспарагина	N глютамина
В проростках подсолнечника	3,63	3,47
» » тыквы	2,21	2,10
» » льна	1,68	1,62
» » фасоли	22,40	3,20
» » люпина (желтого)	20,00	1,00
» » клещевины	1,69	4,14

Мы уже видели, что грань между «кислотными и амидными растениями», намеченная работами Руланда и Ветцеля, оказалась не такой строгой: в растениях с кислым соком могут встречаться все-таки и амиды (но чем кислее сок, тем меньше амидов, и наоборот).

Мало того, оказалось, что в одном и том же органе соотношение между обоими амидами может изменяться, смотря по условиям питания, именно при относительно лучших условиях образуется глютамин, а при большей трате энергетического материала накопляется преимущественно аспарагин, причем именно глютамин может быть источником для образования аспарагина. Переход от пятиуглеродной цепочки к четырехуглеродной происходит путем окисления, дезаминирования и декарбоксилирования:



81* Schwab. Planta, Bd. 25, 579, 1936.



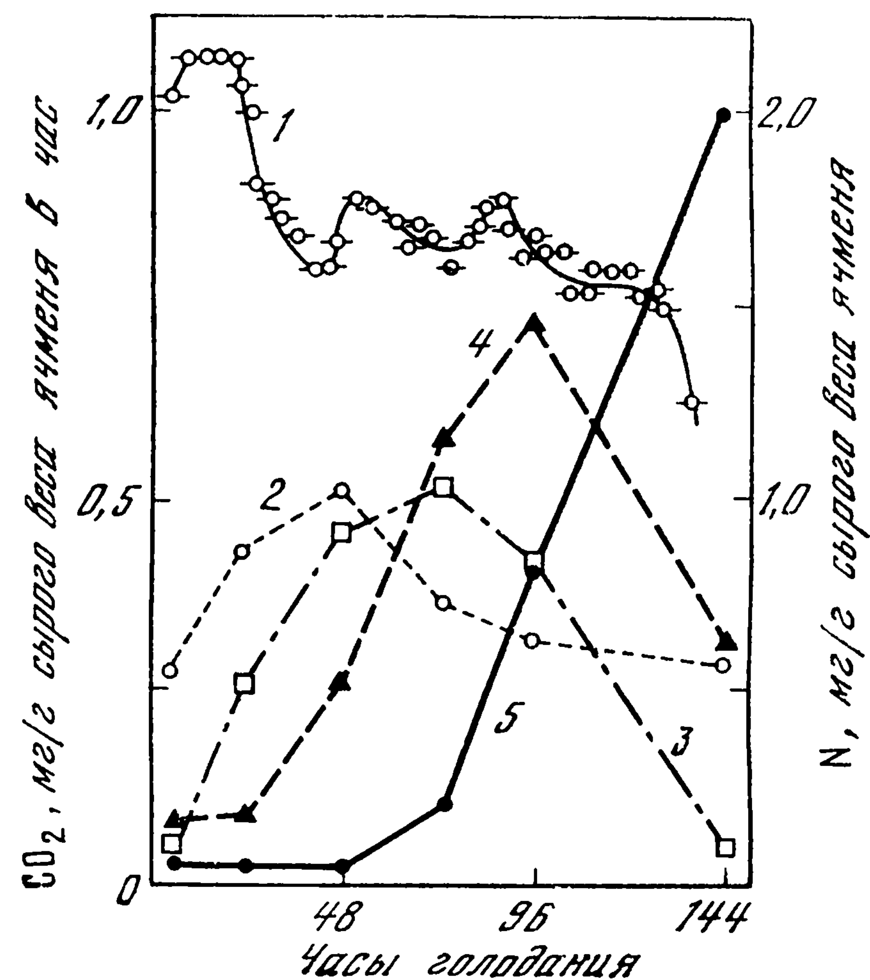


Рис. 6. Изменения в содержании нерастворимого и общего растворимого азота в голодающих листьях ячменя и средняя скорость образования CO_2

1 — CO_2; *2* — общий нерастворимый азот; *3* — общий растворимый азот (опыт Иемма)

Рис. 7. Изменения в содержании аминокислотного, амидного и аммиачного азота в голодающих листьях ячменя и средняя скорость образования CO_2

1 — CO_2; *2* — азот аминокислот; *3* — неустойчивый амидный азот (глютамин); *4* — устойчивый амидный азот (аспарагин); *5* — аммиачный азот (опыт Иемма)

Янтарная кислота при дальнейшем окислении отдает H_2 и переходит в фумаровую, которая, присоединяя аммиак, дает аспарагин (подробности см. ниже).

Эта смена глютамина на аспарагин наблюдалась, например, в опыте Иемма [82*] с голодающими листьями ячменя, отделенными от растения и лишенными света (но при устранении завядания); при этом в листьях распад белков и все дальнейшее превращение азотистых веществ идут быстрее, чем в прорастающих семенах, так как последние имеют запас углеводов (или жиров) в семядолях или эндосперме, а листья такого запаса лишены.

Рис. 6 изображает ход распада белков и накопление растворимых продуктов в сумме (аминокислоты, амиды, аммиак). На рис. 7 можно видеть, как сначала растет количество аминокислот, особенно за первые 48 часов, затем начинается быстрая их убыль и возрастание количества глютамина, но через 72—75 час. глютаминовая кривая проходит через максимум и начинает быстро опускаться вниз, на смену глютамину растет

[82*] Chibnall. Там же, стр. 212—221.

количество аспарагина, достигая максимума примерно к 96 часам от начала опыта (при этом лист желтеет), затем и аспарагиновая кривая резко идет вниз и окислительный распад доходит до конечного продукта — аммиака, что связано с побурением листьев и последующим их отмиранием.

Подобные же данные, но с еще более выраженным накоплением аммиака получил Мотес[83*], при более длительном опыте с голодающими листьями Ginkgo biloba (в миллиграммах на 100 г свежих листьев).

Дни	pH	½ N амидов: глютамин	аспарагин	сумма	N аммиака
0	4,2	11,5	1,2	12,7	2,3
5	4,1	21,2	36,5	57,7	19.4
11	4,9	6,1	36,6	42,7	86,4
13	5,7	2,7	23,9	26.6	125.3
16	6,1	0,0	17,3	17,3	135.3

Мы видим, что сначала глютамин сильно преобладает над аспарагином, его количество в первые дни увеличивается, затем, по мере истощения запаса углеводов, оно начинает падать и доходит в конце опыта до нуля. Количество аспарагина растет до 11-го дня, но затем растение за недостатком углеводов начинает расходовать аспарагин в качестве энергетического материала, аммиак накопляется как таковой, что вызывает значительное изменение pH сока. Количество аммиака возрастает быстрее, чем убывает количество амидного азота, причем эта разность не покрывается, даже если присоединить к амидному азоту еще и аминную группу аспарагиновой кислоты. При перенесении растений на свет прекращается одностороннее преобладание аспарагина, наряду с ним появляется и глютамин, но затем общее количество амидов уменьшается и сильно растет количество азота белков. Это видно из следующего опыта Мотеса с проростками люпина (в % от всего азота).

Дни	N белков	½ N амидов: глютамин	аспарагин	N аммиака
3	75,6	3,9	8,8	1,4
6	59,1	0,9	22,0	6,9
9	42,7	0,0	33,6	9,2
После этого растениям был дан свет				
2	46,4	3,9	27,5	2.3
6	51,9	2,5	14.9	1,9
9	78,0	1,0	8,1	2,1

Таким образом, образование глютамина является признаком лучшего состояния углеводного баланса, при ухудшении же его остается только аспарагин, и если улучшения не наступает, то начинает преобладать накопление аммиака.

[83*] Mothes. Zur Biosynthese der Säureamide.— Planta, Bd. 30, 726, 1940.

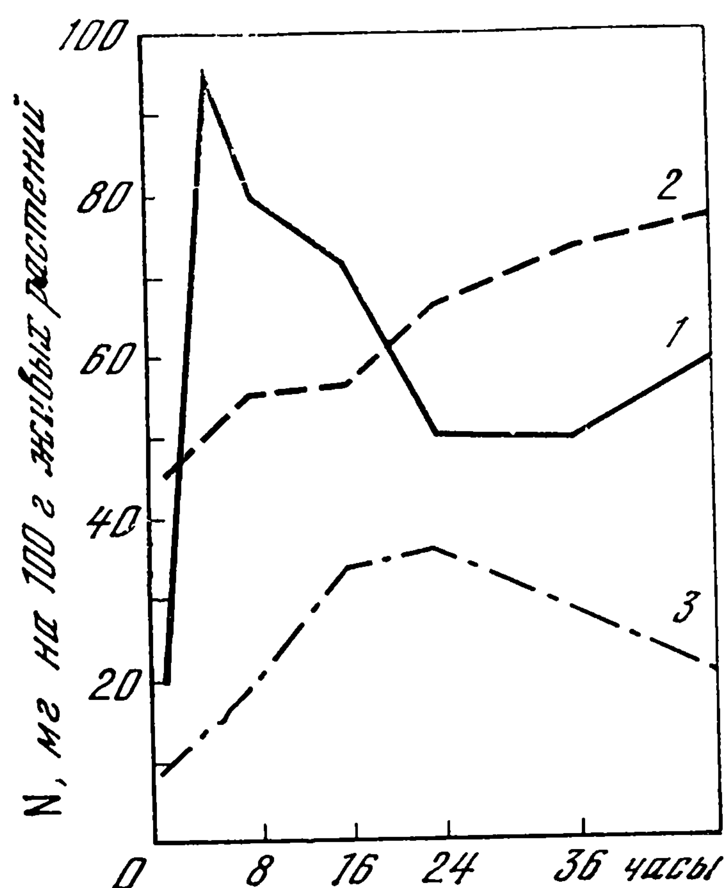


Рис. 8. Синтез глютамина и аспарагина в листьях ржи после инфильтрации глютаминовокислого аммония (опыт Мотеса)

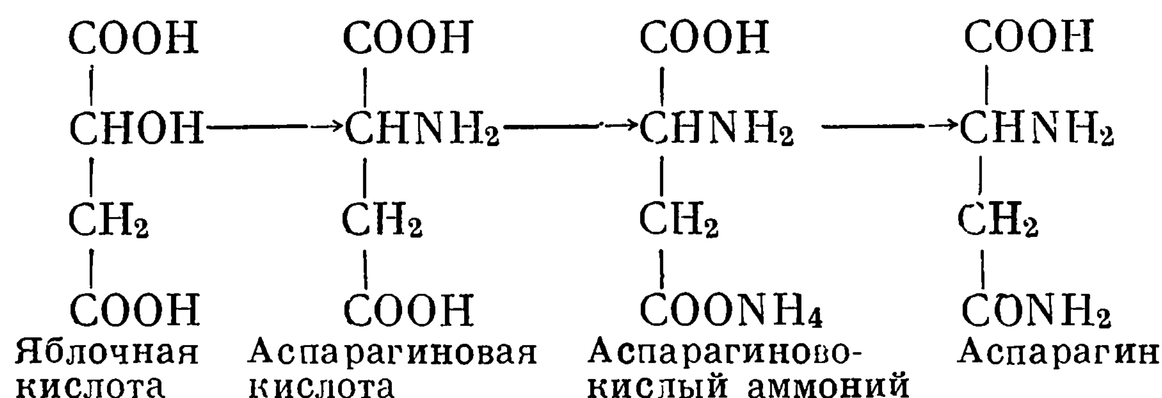
1 — аммиачный азот; 2 — 0,5 азота аспарагина; 3 — 0,5 азота глютамина

В другой обстановке Мотес наблюдал подобные же явления: в отделенные листья ржи после пятидневного голодания он вводил глютаминовокислый аммоний путем инфильтрации. Сначала (первые 16 час.) шел энергичный синтез глютамина: количество аммиака быстро падало, затем наступила задержка образования глютамина, по более энергично шел синтез аспарагина. Через 24 часа начинается убыль глютамина, количество аммиака стабилизируется, но позднее уже не только глютамин, но и аспарагин начинают разрушаться, а аммиачная кривая поворачивается вверх (рис. 8).

Значительный прогресс имел место в последние годы в выяснении путей связывания аммиака с безазотистыми соединениями (четырех- и пятиуглеродной цепочки).

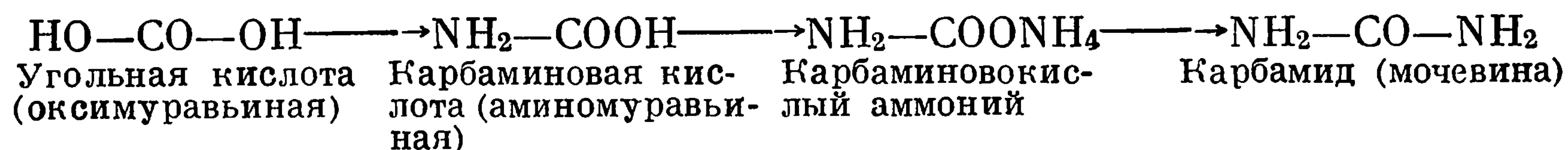
Прежде предполагалось, что путь через оксикислоты является наиболее вероятным, и яблочная кислота была в центре внимания; но иногда имелась в виду наряду с яблочной и непредельная кислота — фумаровая, которая может давать аспарагиновую кислоту, присоединяя аммиак. В одной из моих статей 1910 г. говорилось: «Если оказывается, что весь ассимилированный аммиак перешел в аспарагин, то отсюда следует заключить, что одна половина аммиака переходит в группу $CHNH_2$, а другая — в группу $CONH_2$ и что аспарагин образуется не из аспарагиновой кислоты, а, например, из яблочной или фумаровой кислоты, вообще из безазотистых веществ и аммиака» [84*].

В моей работе 1912 г. давались предположительно следующие схемы [85*].



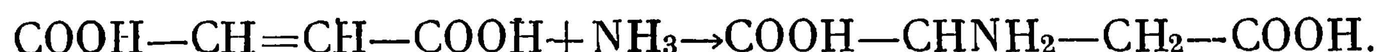
[84*] Здесь разумеется аспарагиновая кислота, образующаяся в небольших количествах при гидролитическом распаде белка. См. Berichte d. Deutschen Bot. Ges., Bd. 28, S. 253, 264, 1910.

[85*] Единство строения белковых веществ.— Журнал опытной агрономии, 1912.



Теперь же выяснилось, что главная роль принадлежит непредельным кислотам и кетонокислотам, являющимся продуктами окисления углеводов.

Из непредельных кислот видное значение имеет фумаровая кислота, которая прямым присоединением аммиака дает аспарагиновую кислоту:

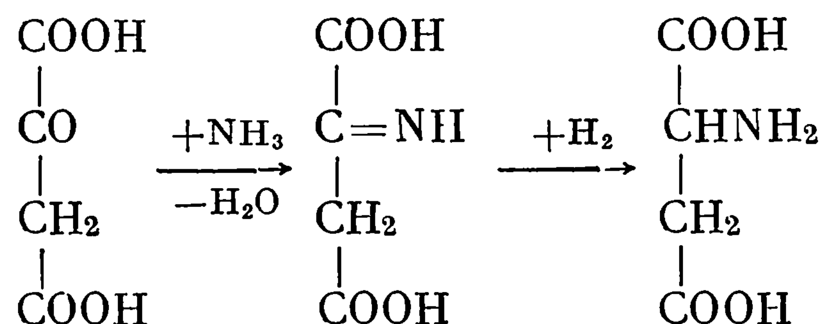


Оказалось, что превращение фумаровой кислоты в аспарагиновую (и обратно) вызывается особым ферментом — аспартазой. Впервые аспартаза была выделена в 1936 г. Квастелем и Вульфом (США) из бактерий [86*], а Виртанен и Тарнанен (Финляндия) [87*] показали, что аспартаза имеет более широкое распространение. Сначала они работали также с микроорганизмами (Bacillus fluorescens liquefaciens); при этом высушенная масса бактерий настаивалась с водой в присутствии толуола, затем применялось центрифугирование и фильтрация через фильтр Биркфельда (при pH 7).

Такая вытяжка, совершенно лишенная бактерий, как расщепляет аспарагиновую кислоту, так и синтезирует ее из фумаровой кислоты и аммиака. Затем аспартаза была выделена из проростков гороха и из молодых листьев злаков.

На другие аминокислоты аспартаза не действует, замещенная фумаровая кислота также не вовлекается в реакцию с NH_3 в присутствии аспартазы [88*].

С другой стороны, кетонокислоты, реагируя с аммиаком, дают иминокислоты, которые при восстановлении дают соответственные аминокислоты. Для образования аспарагиновой кислоты исходным веществом при этом является оксалоуксусная кислота [89*].



[86*] Quastel, Woolf. Цит. по: Fortschrifte der Botanik, 163 (см. также: Chibnall, p. 190).

[87*] Virtanen, Tarnanen. Biochemische Zeitschrift, Bd, 250, p. 112, 1932.

[88*] Та же вытяжка давала у Виртанена аспарагиновую кислоту за счет яблочной кислоты и аммиака, но, по Виртанену, эта вытяжка содержит также фумаразу, образующую фумаровую кислоту из яблочной путем отнятия воды:



а затем уже фумаровая кислота давала с аммиаком аспарагиновую кислоту при участии аспартазы.

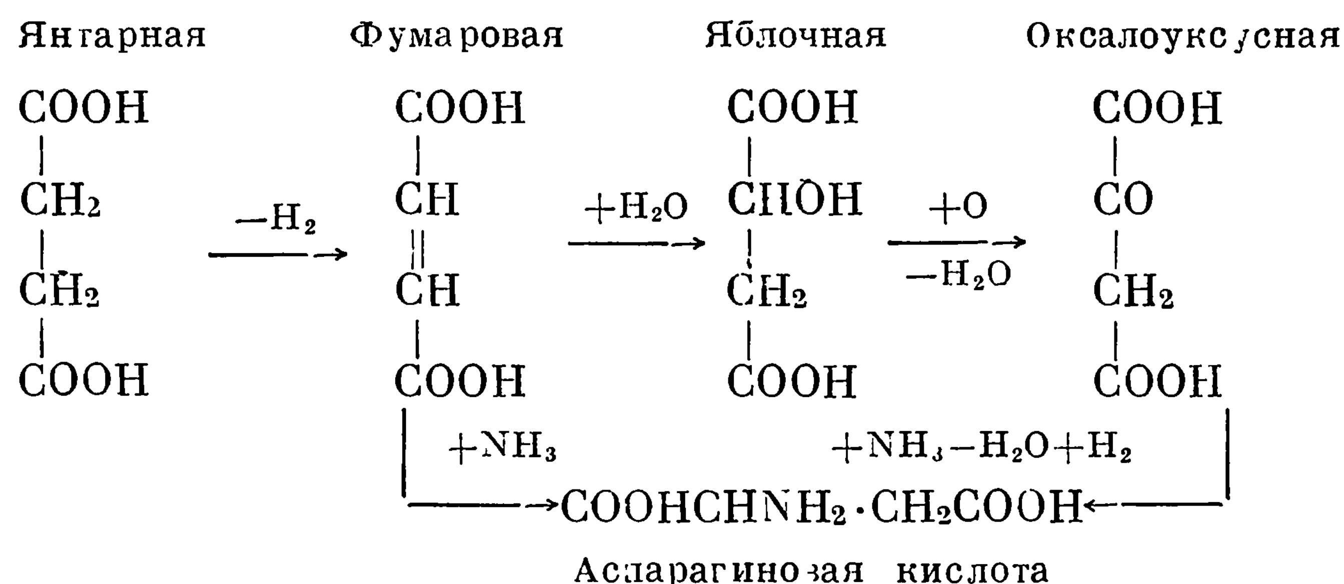
[89*] Выше мы уже упоминали о работе Эмбдена, доказавшего способность кетонокислот реагировать с аммиаком и при восстановлении давать аминокислоты. Позд-

Эта реакция является обратимой, причем она активируется тем же самым ферментом, который при одних условиях отнимает водород от аминокислоты (отсюда название «дегидрогеназа» или «дегидраза»), давая иминокислоту, а последняя, реагируя с водой, отщепляет аммиак и дает кетонокислоту или (при других условиях), наоборот, способствует восстановлению и образованию, например, глютаминовой кислоты за счет кетоглутаровой, и тогда этот фермент играет уже роль гидрогеназы.

В лаборатории Эйлера (Стокгольм) Андерсоном [90*] были выделены из ростков пшеницы и тыквы препараты, вызывавшие также реакцию перехода от аспарагиновой и глютаминовой кислот к соответствующим кетокислотам и обратно — от кетокислот к аминокислотам. Также было показано для различных животных тканей (почки, мозг и др.), что в них содержатся энзимы типа дегидрогеназы [91*], вызывающие переход от глютаминовой кислоты ($-H_2$) к кетоглутаровой или, наоборот, синтезирующие глютаминовую кислоту за счет кетоглутаровой кислоты. Damodaran и Nair [92*] (Индия) в 1938 г. доказали присутствие этого фермента в ряде растений семейства бобовых. Осаждая сернокислым аммонием водную вытяжку из проростков, они получили препарат фермента, проявлявшего наиболее энергичное действие при pH 7,8—8.

Оксалоуксусная кислота является вообще очень важным звеном в целом ряде превращений (мы увидим ниже, что ей приписывают особую роль в обмене между бобовыми растениями и клубеньковыми бактериями). Так как оксалоуксусная кислота получается при окислении яблочной кислоты, а яблочная, отдавая воду, дает фумаровую кислоту, и в то же время янтарная, отдавая два атома водорода, дает тоже фумаровую кислоту, то мы имеем целую цепь четырехуглеродных кислот, связанных взаимными превращениями и потому участвующих прямо или косвенно в образовании аспарагиновой кислоты.

Вот этот ряд кислот:



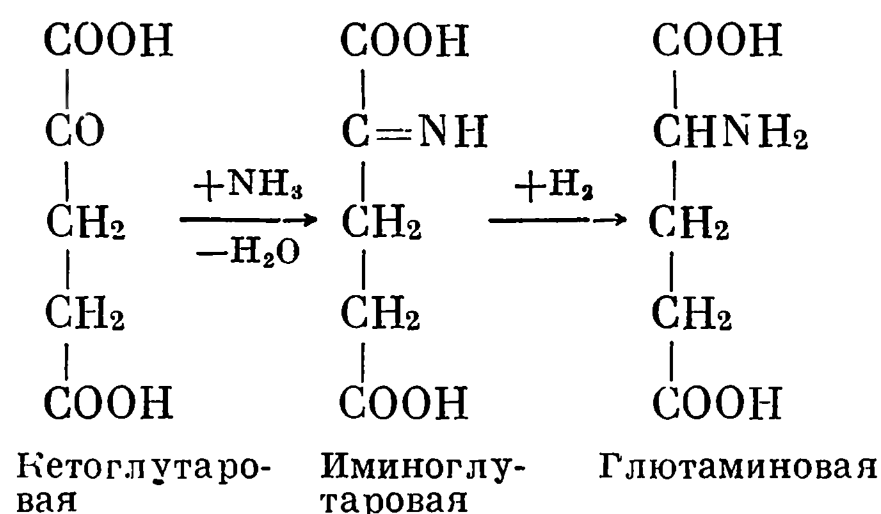
нее (1925) Кноп и Остерлин (Knoop, Oesterlin. Zeit. Physiol. Chemie, 148, p. 294) установили, что именно оксалоуксусная и кетоглутаровая кислоты играют важную роль в образовании аспарагиновой и глютаминовой кислот.

[90*] Zeitschrift f. physiolog. Chemie, 217, 186, 1933.

[91*] Euler. Zeitschrift f. physiolog. Chemie, 254, 61, 1936.

[92*] Цит. по Чибнеллу, стр. 106.

Для глютаминовой кислоты исходным веществом является кетоглутаровая кислота:



Чибнелл при своих опытах с листьями райграса (Lolium perenne) вводил в них путем инфильтрации аммиачную соль кетоглутаровой кислоты и, проведя в различные сроки (4—20 час.) количественный учет убыли кетоглутаровой кислоты и прироста глютамина, получил хорошее совпадение цифр:

	Через 4 часа	Через 20 час.
Уменьшение количества кетоглутаровой кислоты *	17,1	26,2
Прирост N глютамина		
по расчету	3,3	5,3
найдено	3,2	5,3

* На 10 г свежих листьев.

Итак, названные дикарбоновые кислоты с четырех- или пятиуглеродной цепочкой (фумаровая, оксалоуксусная, кетоглутаровая) являются специфическими уловителями аммиака, который обезвреживается, потребляясь в процессе образования аминокислот при участии ферментов или типа аспартазы, способствующей прямому присоединению аммиака (при образовании аспарагина за счет фумаровой кислоты), или типа гидрогеназ, активирующих переход от кетонокислот к аминокислотам. Но роль названных дикарбоновых кислот в обезвреживании аммиака не ограничивается переходом к соответственным аминокислотам — эти последние способны обезвредить еще одну частицу аммиака, давая амиды аминокислот.

Эти амиды образуются из аммиачных солей аспарагиновой и глютаминовой кислот путем дегидратации по общей схеме:



$$RCHNH_2COONH_4 - H_2O \rightarrow RCHNH_2CONH_2,$$

причем дегидратация эта вызывается специфическими ферментами, выделенными из ряда объектов.

Так, синтез аспарагина идет при помощи аспарагиназы, выделенной Чибнеллом из прорастающего ячменя и Мотесом из листьев ряда растений; также и глютаминаза, под влиянием которой из глютаминовокисло-

го аммония образуется глютамин, выделена из корней свеклы и листьев райграса (Виккери с сотрудниками) и из клеток плесневых грибов. Кребс[93*] выделил глютаминазу из ряда тканей животного организма (в зависимости от условий среды тот же фермент вызывает и обратную реакцию дезамидирования с образованием соответственной аммиачной соли). Интересен один из опытов Гринхилла и Чибнелла с райграсом (L. perenne), демонстрирующий быстроту образования глютамина этим растением: при внесении в почву значительных количеств сернокислого аммония на другой же день на кончиках листьев выступал белый налет; при исследовании налет этот оказался состоящим из кристалликов глютамина. Это наблюдение дало повод поставить более точный опыт с тем же объектом по методу инфильтрации, с введением глютаминовокислого аммония. Через 22 часа уменьшение количества аммиака (7,1 мг на 10 г свежих листьев) совершенно совпало с увеличением количества амидного азота (7 мг)[94*].

В этой области обширные исследования были проведены на Коннектикутской опытной станции Виккери с сотрудниками, особенно подробно исследовался обмен веществ в листьях табака и ревеня[95*].

Опыты с листьями табака, отделенными от растения и погруженными основаниями в воду, показали, что в темноте образуется в изобилии аспарагин; содержание глютамина невелико, и оно идет на убыль. В течение первых 100 час. заметных количеств аммиака не образовалось, но затем содержание его быстро возрастало. Очевидно, в первый период дыхание приводит к образованию достаточных количеств оксалоуксусной кислоты, чтобы весь аммиак, отщепляющийся при окислении аминокислот, был потреблен на образование аспарагина. Позднее же, с недостатком углеводов, образование оксалоуксусной кислоты становится все менее обильным, и аммиак начинает накопляться (в виде бикарбоната). При такой постановке опыта на свету в листьях наблюдалось помимо образования аспарагина и образование глютамина, количество которого возрастало. Можно думать, что ассимиляция, вызывая накопление углеводов, тем самым давала материал и для накопления того безазотистого предшественника, из которого образуется глютамин при участии аммиака; таковым, очевидно, является кетоглутаровая кислота.

По мнению Мотеса, образование амидов аминокислот не только обезвреживает добавочное количество аммиака, но притом еще достигается стабилизация аминной группы этих столь важных в жизни растения аминокислот, а именно таким путем они защищаются от действия дегидрогеназы, приводящего к дезаминированию.

[93*] Krebs. Zeitschrift f. physiolog. Chemie, 213, 157, 1933.

[94*] Chibnall. Там же, стр. 204.

[95*] H. B. Vickery, G. W. Pucher, A. I. Wakeman, C. S. Leavenworth. Chemical Investigation of the Tobacco Plant. Carnegie Inst. Wasch. Pub., 445, 1933; Chemical Investigation of the Rhubarb Plant. Connecticut Agr. Exp. Sta. Bull., 424, 1939.

В итоге все отмеченные работы по синтезу аминокислот и амидов дали ряд новых подтверждений моему старому тезису относительно аммиака как альфы и омеги в процессе обмена азотистых веществ в растении; они еще раз показали не только неверность старого представления о необходимости для питания растений предварительного окисления аммиака, но и неверность более позднего утверждения, будто аммиак медленно поступает в растения — на самом деле он поступает быстрее азотной кислоты (это мы еще увидим ниже, во второй части настоящего обзора). Этого рода работами дана была физиологическая санкция, своего рода «путевка в жизнь» новому направлению в азотной промышленности, которая перешла от синтеза азотной кислоты к синтезу аммиака.

Может быть, скажут, что ведь все равно в почве аммиак идет на образование нитратов,— в чем же разница? Разница вот в чем: процесс нитрификации идет медленно, особенно весной, когда почва еще не прогрелась, да при внесении удобрений в подкормку важно, чтобы они обладали непосредственной усвояемостью. Насколько медленно образуются нитраты весной, показывают следующие данные Турчина [96*].

Содержание нитратного азота в почве через $1^1/_2$ месяца после появления всходов овса (Долгопрудное опытное поле)

Без удобрения	$(NH_4)_2SO_4$	$Ca(NO_3)_2$	NH_4NO_3
7,0	10,6	28,2	20,0

То же, в опыте со свеклой на черноземе (Шатиловская опытная станция) через 28 дней

Фон (РК)	$(NH_4)_2SO_4$	$NaNO_3$	$NaNO_3$ (при гнездовом внесении)
4,3	4,5	35,2	50,0

Итак, вопрос об аммиаке представляет интерес не только с точки зрения общефизиологических сопоставлений между высшими и низшими растениями и еще более широкого параллелизма с превращением веществ в животном организме, но и с точки зрения непосредственного приложения в сельском хозяйстве.

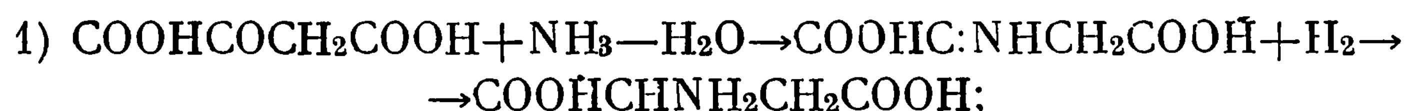
Ниже мы рассмотрим те особенности применения аммиачных солей, которые должен учитывать каждый агроном; теперь же остановимся на важном открытии советских биохимиков — Браунштейна и Крицман, касающемся тех самых дикарбоновых аминокислот — аспарагиновой и глютаминовой, которые играют такую важную роль в обезвреживании аммиака, образующегося в самом растении и являющегося также первым продуктом использования извне поступающего аммиака: оказалось, что

[96*] Ф. В. Турчин. О природе действия удобрений. М., 1936.

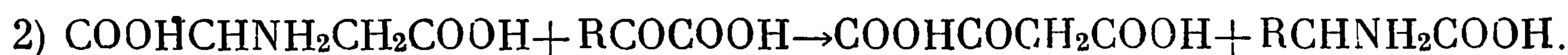
через эти аминокислоты лежит еще и общий путь к синтезу остальных аминокислот с разнообразной длиной углеродной цепочки.

Браунштейн и Крицман [97*], изучая биохимические процессы в животном организме, открыли явление так называемого переаминирования, т. е. переход аминной группы аспарагиновой или глютаминовой кислоты к любой кетонокислоте.

Нужно сказать, что кетонокислоты, обладающие одной карбоксильной группой, не склонны прямо реагировать с аммиаком и давать иминокислоты (и дальше — аминокислоты), но эта реакция идет легко с дикарбоновыми кетонокислотами (оксалоуксусной и кетоглутаровой), дающими аспарагиновую и глютаминовую кислоты, а эти последние способны передавать дальше аминогруппу уже другим кетонокислотам. Поэтому общий путь синтеза аминокислот нужно представить идущим через такие две фазы:

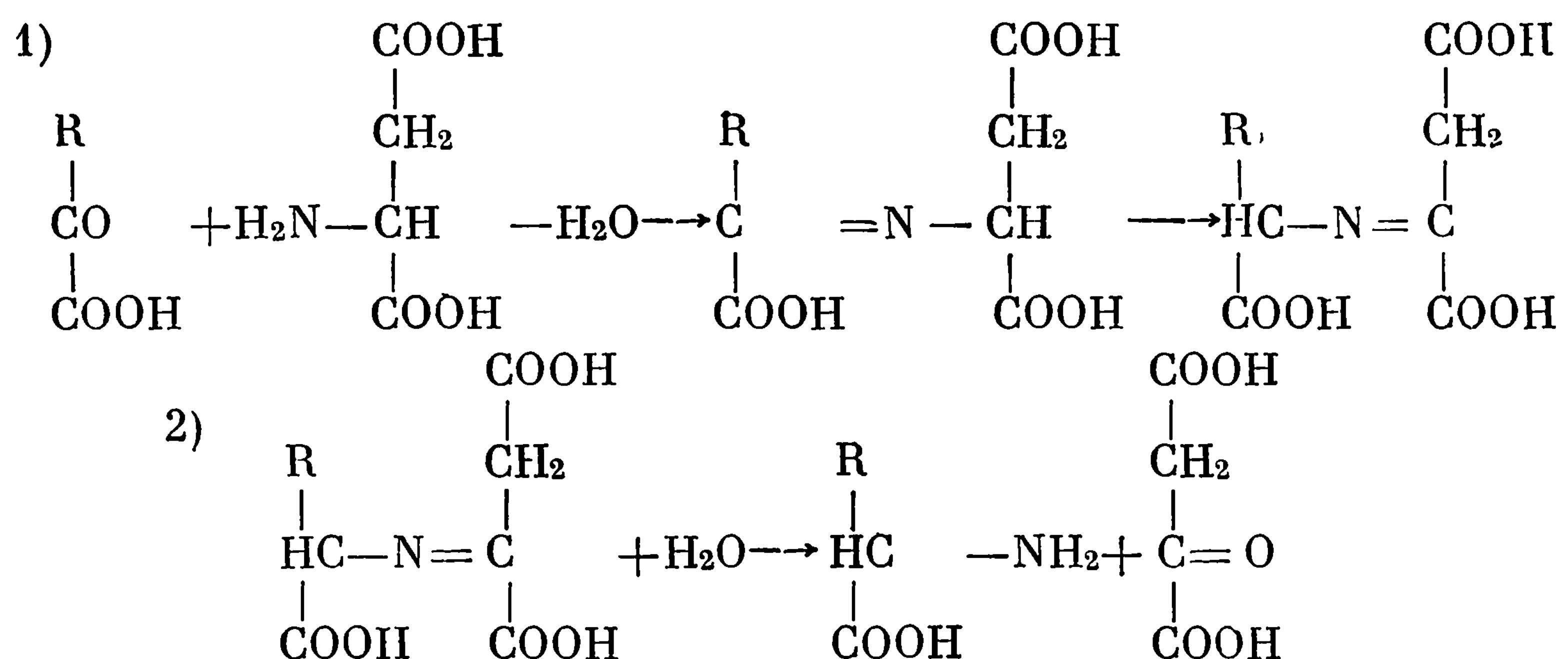


1) $COOHCOCH_2COOH + NH_3 - H_2O \rightarrow COOHC{:}NHCH_2COOH + H_2 \rightarrow$
$\rightarrow COOHCHNH_2CH_2COOH;$



2) $COOHCHNH_2CH_2COOH + RCOCOOH \rightarrow COOHCOCH_2COOH + RCHNH_2COOH.$

Чтобы ход второй реакции был более понятен, изобразим его так, чтобы было видно образование промежуточного соединения с выделением воды за счет групп CO и NH_2, а затем гидролитический распад этого соединения с обратным вхождением воды, но при ином расположении ее компонентов, так что продукты распада нетождественны с первоначальными компонентами, с которых начинается реакция:

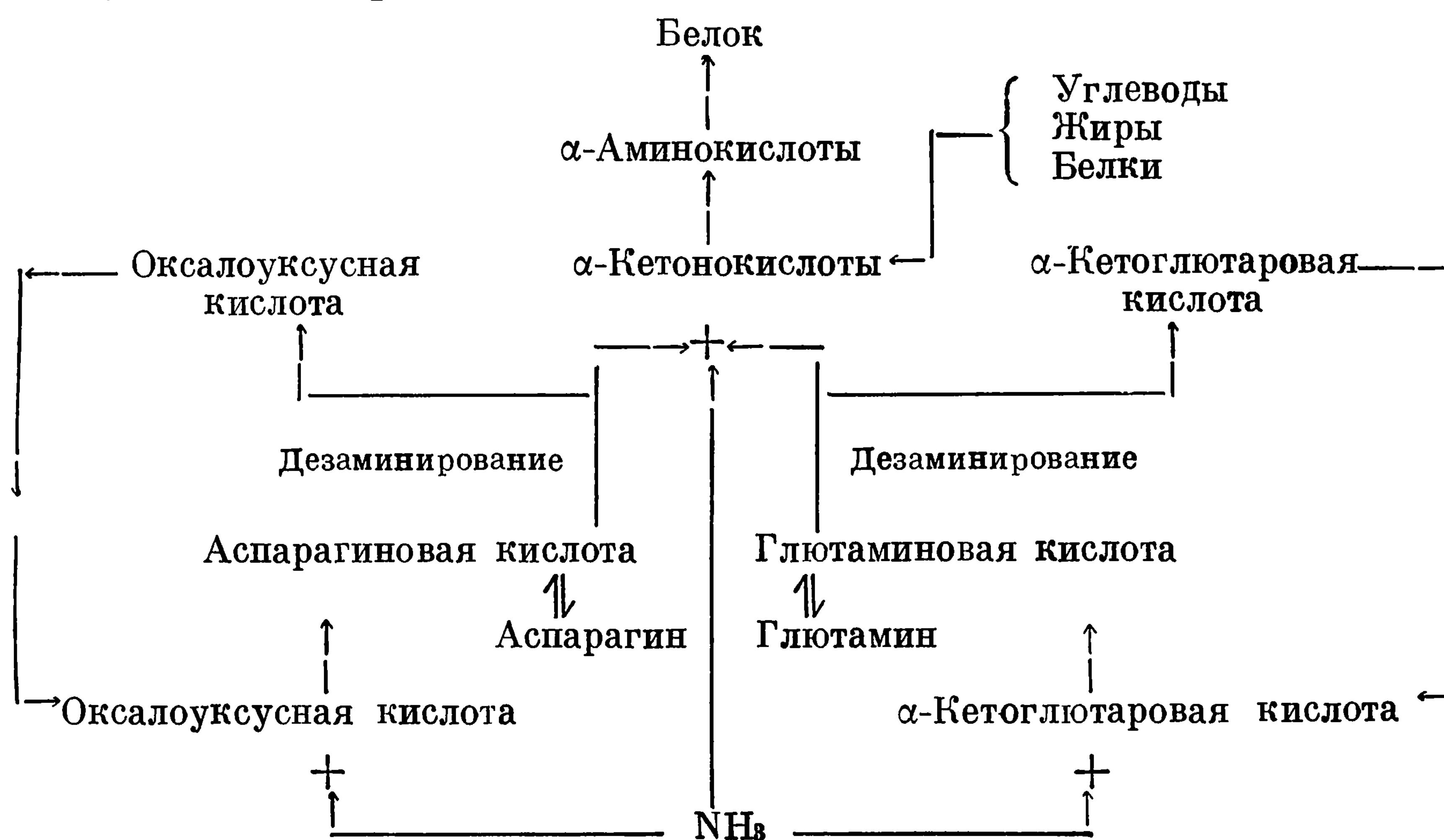


То, что Браунштейн и Крицман наблюдали для животного организма, подтверждено рядом наблюдений и над растительными объектами. Так, Виртанен и Лейн нашли, что растертая масса гороха вызывает реакцию переаминирования между аспарагиновой кислотой и кетонокислотами;

[97*] Биохимия, 2, 242 и 859, 1937. См. также: Крицман, Коникова, Тейс. Изучение механизма переаминирования при помощи дейтерия.— Биохимия, 7, № 3, 66, 1942.

Эйлер и его сотрудники показали, что вытяжки из различных растений содержат энзимы, в присутствии которых глютаминовая кислота становится донатором группы NH_2 и способствует синтезу других аминокислот.

В дополнение приведем еще схему Чибнелла:



Благодаря легкости образования аспарагиновой и глютаминовой кислот из соответствующих кетонокислот и их способности к переаминированию, можно сказать, что дикарбоновые моноаминокислоты являются как бы воротами на пути к синтезу других аминокислот, а следовательно, и белков.

Итак, дикарбоновые кислоты и их амиды играют троякую роль в обмене азотистых веществ: 1) они являются формой обезвреживания того аммиака, который образуется при регрессивной метаморфозе азотистых веществ, особенно резко выраженном при прорастании; 2) при процессе синтеза азотистых веществ за счет аммиака, поступающего извне, они являются первыми продуктами синтеза, одновременно служа как для обезвреживания этого аммиака, так и для образования резервов группы NH_2, которая послужит для синтеза аминокислот и белков, когда растение будет располагать достаточным количеством углеводов; 3) кроме резервирования группы NH_2, дикарбоновые аминокислоты непосредственно участвуют в механизме ее передачи, вступая в реакции переаминирования с различными кетокислотами и тем способствуя синтезу непосредственных компонентов белковой молекулы [98*].

[98*] Ниже излагается гипотеза Виртанена, по которой в механизме фиксации азота клубеньковыми бактериями главная роль принадлежит реакции между оксалоуксусной кислотой и гидроксиламином. Если эта гипотеза подтвердится, то этим добавится еще одна важная сторона участия дикарбоновых кислот в процессах обмена азотистых веществ в растении.

Синтез органических азотистых соединений за счет нитратов и нитритов

Раньше многие авторы склонны были думать, что использование нитратов в процессах синтеза происходит только под влиянием света в ассимилирующих листьях. Шимпер, например, полагал, что азотнокислый кальций, поступающий из почвы, целиком как таковой доходит до тканей листа, и там азотная кислота восстанавливается, а кальций осаждается щавелевой кислотой. Шимпер настолько связывал редукцию нитратов с ассимиляцией, что считал этот процесс невозможным даже на свету в бесхлорофильных участках листьев у пестролистных растений. Однако последующие исследования не подтвердили этих воззрений — восстановление нитратов требует присутствия углеводов, а не света. Точно так же отпадают и другие гипотезы, по которым муравьиный альдегид, образующийся при восстановлении CO_2 в хлоропластах, играет также роль и при восстановлении нитратов. Сюда относится гипотеза Трейба (Treub, 1904), по которой при взаимодействии HCOH с нитратами должна будто бы получаться синильная кислота [99*].

Трейб, действительно, нашел в ряде растений синильную кислоту, но в малоактивной, связанной форме (в виде глюкозидов), и общая роль этого очень ядовитого вещества в процессе редукции нитратов не подтверждена. Также не нашла подтверждения гипотеза Баудиша, который полагал, что нитраты, переходя в нитриты, затем вступают в реакцию с формальдегидом, давая гидроксамовые кислоты. Действительно, при опытах in vitro такая реакция происходит, но так как оказалось, что редукция нитратов имеет место и в темноте, то связь этого процесса с участием формальдегида теряет вероятность.

Первым автором, наблюдавшим в 1897 г., что при восстановлении нитратов в темноте образуются органические азотистые соединения, был Э. Годлевский (Краков, кафедра агрохимии). Он показал, что этиолированные ростки пшеницы при питании нитратами обнаруживают прирост азота, превосходящий содержание в них нитратного азота; за счет нитратов образовались какие-то азотистые органические соединения небелкового типа.

Обзор работ, предшествовавших работе Годлевского (Kinoshita, Suzuki, Laurent и др.), дан был мной в свое время [100*], здесь о них подробнее говорить не приходится, так как они или приводили к отрицательным результатам, или были недостаточно доказательными. Годлевский,

---

[99*] Вне растения действительно удается наблюдать образование синильной кислоты, если взять воду, насыщенную углекислотой, в ней растворить муравьиный альдегид и селитру и подвергнуть раствор действию света; но из этого еще не следует, что в растении осуществляется тот же процесс.

[100*] Д. Н. Прянишников. Белковые вещества и их превращения в растении, гл. IV, 1899 (см. также Известия МСХИ, 1899). То же.— Избр. сочинения, т. 1. Изд. АН СССР, 1955, стр. 19.

кроме работы 1897 г., дал еще более обстоятельную работу в 1900 г. (издание Краковской академии наук), в которой его первые наблюдения вполне подтвердились [101*]. Следующим этапом были опыты, проведенные в нашей лаборатории в 1912—1915 гг. рядом лиц (Перитурин, Калинкин, Ритман) с проростками различных растений. Эти опыты обнаружили, что за счет нитратов растения в темноте образуют аспарагин, так же как и за счет аммиака, хотя количественные соотношения между амидным, аминным и белковым азотом при нитратном питании не совпадают с теми, какие получаются при питании аммиаком.

Вот примеры из опытов с проростками кукурузы и вики.

Опыт с кукурузой

На 100 растений (в мг)	Дистиллированная вода	$Ca(NO_3)_2$	$NH_4Cl+CaCO_3$
Всего азота	759,3	869,7	939,9
Азота белков	540,9	592,9	538,0
» аспарагина	104,5	160,7	269,5
» аминокислот	110,2	90,9	127,6
» нитратов	—	19,1	—
» аммиака	3,7	6,0	4,8

Из этих цифр видно, что питание нитратами вызвало ясное увеличение количества аспарагина. Оно, правда, было не так велико, как при аммиачном питании, при котором большая часть поступившего аммиака (165 мг N из 180 мг) оказывается потребленной на образование аспарагина. В случае нитратов лишь около половины поступившего азота перешло в форму аспарагина (56 мг из 100); тем не менее ясно, что этот прирост аспарагина образовался за счет нитратного азота, так как усиленным распадом белка объяснить этого нельзя — в данном случае белка как раз было больше, чем в контрольных растениях, не получивших азота.

Опыт с викой

На 100 растений (в мг)	Дистиллированная вода	$Ca(NO_3)_2$	$NH_4Cl+CaCO_3$
Общий азот	221,0	247,6	263,0
Азота белков	85,0	76,9	90,0
» аминокислот	48,0	59,5	41,3
» аспарагина	75,9	93,3	118,2
» аммиака	0,9	—	1,0

[101*] Annales agronomiques. 1897.— Bulletins de l'Academie des Sciences a Cracovie, 1900.

В опыте с проростками вики точно так же наблюдалось образование аспарагина за счет нитратов, хотя и здесь оно было менее энергичным, чем за счет аммиака. Эти опыты сделали вероятным допущение, что, прежде чем азот нитратов войдет в состав аспарагина, содержащего аминную и амидную группу, при восстановлении нитратов должен получиться аммиак. Но в то время мы еще не ставили отдельных опытов для выявления аммиака как промежуточного продукта по пути от азота нитратов к азоту аспарагина, они были проведены нами позднее. Для этих целей следует тем или иным путем подавлять синтетические процессы, что можно делать или уменьшением количества углеводов, или изменением реакции в сторону подкисления, или применением анестезирующих веществ. Но того же можно достигнуть и не подавляя искусственно синтетических процессов, но давая растениям столь обильное нитратное питание, что они не в состоянии потреблять всего образующего при редукции аммиака, тогда последний начинает выделяться через корни в окружающий их раствор; для ассимилирующих растений наиболее легко это осуществляется во второй половине вегетационного периода, когда растение уже образовало главную массу белков.

О проведенных нами планомерных опытах с подавлением синтетических процессов, в целях обнаружения аммиака как промежуточного продукта по пути от нитратного азота к азоту амидов и аминокислот, мы скажем ниже, сообразно хронологическому порядку, здесь же отметим один наш опыт 1919 г. с проростками гороха, который имел другие цели, но в нем тогда неожиданно для нас проявилось выделение аммиака корнями растений в окружающий раствор при одновременном поглощении нитратов. Тогда этот опыт должен был ответить на вопрос, не вызывает ли подкисление раствора изменения отношения растения к азотнокислому аммиаку, т. е. перехода от преимущественного поглощения аммиака к преимущественному поглощению азотной кислоты. Оказалось, что если известное подкисление действительно дает этот результат, то более сильная кислотность, подавляя синтез амидов за счет аммиака, не подавляет образования аммиака за счет NO_3, что и проявилось в выделении аммиака растениями в окружающий корни раствор. Вот данные этого опыта.

Из раствора NH_4NO_3 было поглощено растениями (за 14 дней) (в мг)	Концентрация HCl			
	I 0,00015	II 0,00075	III 0,0010	IV 0,0025
Аммиачный азот	+17,0	+4,9	−16,5	−29,6
Нитратный »	+27,3	+26,7	+19,4	+3,4
Сумма	+44,3	+31,6	+2,9	−26,2

При концентрации HCl в 0,001 н. замечается одновременное поглощение HNO_3 и выделение взамен этого NH_3; при еще большей концентрации поглощение HNO_3 уже невелико, и аммиак выделяется преимущественно за счет дезамидирования. Мы видели выше, что в работе Кульчер наблюдалась обратная связь между кислотностью клеточного сока и способностью образовать амиды; если не в такой систематической форме, то все же в основных чертах нами эта зависимость была обнаружена в 1912—1914 гг. Мы имеем в виду не только опыты с питанием ростков люпина такими солями, как NH_4Cl, $(NH_4)_2SO_4$, вызывавшими у растений, бедных углеводами, дезамидирование вместо синтеза новых количеств аспарагина, но и прямой опыт с действием слабых растворов свободных кислот [102*].

В более систематической форме опыты по изучению влияния кислотности среды на выделение аммиака корнями растений были продолжены нами в 1926 г. [103*]

Если бы опыт 1919 г. ставился с определенным намерением изучить редукцию нитратов до аммиака, то, конечно, следовало бы вводить ион NO_3 с любыми катионами, кроме аммиака. Такие опыты и проводились нами позднее, но опять-таки, следуя хронологическому порядку, мы должны сначала упомянуть о работах С. П. Костычева [104*] и О. Варбурга [105*], появившихся в 1920 г., хотя эти работы не относились к высшим растениям, с которыми работали мы, но тем не менее они явились подтверждением наших предположений относительно выделения растениями в окружающую среду аммиака, образовавшегося за счет восстановления нитратов, если опыт ведется в условиях подавления синтеза белков и аминокислот.

Костычев, работая с плесневыми грибами, давал им $NaNO_3$ в качестве источника азота. При обильном питании углеводами наблюдалось образование белков без накопления промежуточных продуктов, но при понижении питания сахаром в растворе появлялись нитраты и аммиак [106*]. Варбург работал с зеленым растением, хотя и одноклеточным, с водорослью Chlorella, которая выносит значительное подкисление раствора (до pH 2). В раствор вводилась смесь $NaNO_3$ и HNO_3, чтобы понизить диссоциацию $NaNO_3$ и усилить поступление азотистой пищи в клетку. При этом, так же как и в опытах Костычева, при наличии значительных количеств уг-

---

102* Соответственный пример из опыта О. Н. Кашеваровой (1914) был уже приведен выше.

103* Biochemische Zeitschrift, Bd. 193, 1928.

104* Zeitschrift für physiol. Chemie, 111, 1920.

105* Warburg. Biochem. Zeitschrift, 110, 66, 1920.

106* При рассмотрении работ с плесневыми грибами, проведенных Буткевичем и Костычевым, мы всегда находили в них подтверждение своей мысли о том, что должны существовать известные черты сходства в обмене азотистых веществ у грибов и этиолированных растений. Дальнейшее подтверждение и развитие эти представления получили в работе Деборди (Франция). См. его монографию: J. Desbordes. Etudes de la noutrition de la cellule vivante. Paris, 1936.

леводов, в результате энергичной ассимиляции при хорошем освещении шел энергичный синтез белков без накопления аммиака; если же ассимиляцию ослабить путем затенения, то в растворе появляется аммиак, а иногда и нитриты, образовавшиеся за счет редукции нитратов. При этом Варбург наблюдал изменение отношения $CO_2 : O_2$, которое повышалось при питании нитратами в темноте до 1,4—1,6 благодаря выделению добавочной углекислоты (Extrakohlensäure) параллельно с накоплением аммиака (на свету же появляется «добавочный кислород»).

Факт образования аммиака при восстановлении нитратов или нитритов высшими растениями впервые наблюдал в нашей лаборатории Дикусар в 1924 г., если не считать вышеупомянутого опыта 1919 г., где редукция нитратов до аммиака наблюдалась, но где вводился NH_4NO_3, а не $NaNO_3$ или $NaNO_2$. Опыты Дикусара велись с нитратами, но так как легкое восстановление NO_3 до NO_2 давно обнаружено[107*], то для нашей цели безразлично, исходить ли из NO_3 или NO_2. Эти опыты намеренно ставились с этиолированными растениями, при разном запасе углеводов в семенах (об опытах с ассимилирующими растениями будет речь ниже).

Оказалось, что, чем меньше запас углеводов у проростков, тем легче обнаруживается аммиак как промежуточный продукт по пути перехода от окисленных соединений азота к органическим азотистым веществам. Кроме того, большое влияние оказывают концентрация раствора и реакция среды. Приведем пример из опытов, проведенных в нашей лаборатории в 1924 г. И. Г. Дикусаром[108*] с горчицей.

Дано нитритного азота (в мг/л)		0	1	4	16	64
Найдено NH_3 (в мг N в 1 л)	Горчица	0	0	0,8	1,4	3,8
	Вика	0	0	0	0	1,2

Как видим, у горчицы аммиак появлялся скорее, чем у вики, более богатой углеводами. Что аммиак в этом случае образуется именно за счет редукции нитритов, а не за счет процессов дезамидирования и дезаминирования, легко установлено было последующими опытами Смирнова и Ерыгина, в которых проведен был подробный учет содержания как амидов, так и аммиака в самих растениях[109*].

В том же 1924 г. появилась (но до нас дошла со значительным опозданием) работа Эккерсон[110*], получившей интересные микрохимические

107* Первое указание на восстановление нитратов в нитриты дано было в 1890 г. Лораном (Annales de l'Institut Pasteur, 1890), затем Годлевский подтвердил эти наблюдения для высших растений в условиях стерильных культур (Annales agronomiques, 1900); далее следовали работы Набоких (Ber. der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 1903) и Мазе (Annales de l'Institut Pasteur, 1911).

108* Научно-агрономический журнал, II, 1925.

109* Научно-агрономический журнал, III, 1926.

110* S. Eckerson. Proteinsynthesis by Plants. I. Nitrate Reduction.— Botanical Gazette, 77 (377), 1924.

данные по поступлению и превращению нитратов в растениях (томаты), пересаженных из плодородной почвы в кварцевый песок и выдержанных в нем в течение 2 недель без внесения азота. Подготовленные таким образом растения содержали много крахмала, но не содержали нитратов, нитритов, аммиака и даже аминокислот.

Через 24 часа после внесения в песок $Ca(NO_3)_2$ нитраты были во всех частях, верхушки некоторых растений давали слабую реакцию на нитриты, аммиака не было. Через 36 час. во всех растениях обнаруживались нитриты (при определенной локализации) и следы аммиака. Через 48 час. было несколько меньше нитритов и больше аммиака. При помещении срезов в абсолютный спирт стали обнаруживаться кристаллики аспарагина; в то же время замечено некоторое уменьшение крахмала в растениях. Между 3-м и 5-м днем, при малом содержании нитритов и аммиака, наблюдалось сильное возрастание количества аминокислот наряду с появлением янтарной и яблочной кислот. Кроме аспарагина и аспарагиновой кислоты, обнаружены аланин, лейцин, гистидин и цистин. Одновременно наблюдалась дальнейшая убыль крахмала, молодые листья приобретали более яркую зеленую окраску, и появились признаки нового роста в верхних частях стеблей.

В 1925 г. появилась работа Клейна и Киссера [111*], которые показали, что даже у ассимилирующих растений можно при избыточном снабжении нитратами обнаружить образование (и выделение корнями в окружающий раствор) промежуточных продуктов между нитратами и амидами, а именно нитритов и аммиака.

Таким образом, обнаружение промежуточных продуктов, которое в опытах Костычева с грибами и в опытах Дикусара с проростками высших растений было достигнуто путем снижения энергии синтеза (уменьшение количества углеводов), в работе Клейна и Киссера достигнуто было обратным путем — столь обильным снабжением растения нитратами, которое превышало всякую потребность в азоте для синтеза белков даже у ассимилирующего растения, — и тогда также выявлялось образование аммиака, который в обычных условиях не накопляется (путь, который использовал и Варбург при своих опытах с Chlorella).

Если иметь в виду высшие растения, то после работ Дикусара, Эккерсон, Клейна и Киссера нужно назвать работы ряда американских авторов (периода 1927—1932 гг.), которые изучали локализацию процессов восстановления нитратов и показали, что уже в корнях растений происходит не только восстановление нитратов до аммиака, но и синтез амидов. Нашими опытами 1912—1914 гг. уже было показано, что образование аспарагина за счет как аммиака, так и нитратов происходит в темноте, но тогда мы не занимались вопросом, в каких органах растения идут эти процессы.

[111*] K l e i n, K i s s e r. Sitzungsberichte der Akademie. Wien, 1925.

Сотрудники опытной станции Нью-Джерсей Найтингел и Шермерхорн [112*] в работе 1928 г. пришли к выводу, что мочковатые корни (fibrous roots) спаржи являются главными органами, где происходит восстановление нитратов, причем сначала появляются нитриты и аммиак, а затем — аспарагин и аминокислоты; восстановление это идет за счет безазотистых веществ и трата углеводов у растений, получивших нитраты, за время опыта (17 дней) была на 65% больше, чем у растений контрольных (без нитратов).

Подобные же наблюдения сделали Найтингел и Робинс [113*] в своей работе с Polyanthus narcissus и Тидженс и Блэйк [114*] (также сотрудники Нью-Джерсейской опытной станции), давшие обстоятельную работу по аммиачному и нитратному питанию яблони. Они показали, что и у деревьев мелкие корневые разветвления являются главными органами, в которых происходит ассимиляция нитратов и аммиака (а не только их поглощение). Но разумеется, что размер усвоения нитратов в корнях зависит от соотношения между количеством углеводов в них и количеством притекающих нитратов; при слишком обильном притоке последних в корнях может не хватить углеводов для восстановления избыточных нитратов. Так, Бурштрем [115*] наблюдал при таких условиях, что лишь от 30 до 50% поглощенных нитратов усваивалось в корнях (при этом наблюдался недостаток глюкозы в последних), остальная часть нитратов поступала в надземные органы, богатые углеводами, и там постепенно потреблялась.

Если можно считать установленным, что промежуточным продуктом при восстановлении нитратов до аммиака являются нитриты, то этим вопрос еще далеко не исчерпывается, так как между первой стадией восстановления (NO_2) и последней (NH_3) должен быть еще ряд промежуточных ступеней. Имеется ряд указаний, что образованию аммиака предшествует образование гидроксиламина (NH_2OH), который, однако, не может накопляться в значительных количествах как ядовитое вещество. Но пример формальдегида показывает, что вопрос об ядовитости является условным — все дело в том, о каких концентрациях идет речь. На возможную роль гидроксиламина в образовании амино- и амидосоединений указывал в 1896 г. А. Н. Бах [116*], полагавший, что гидроксиламин реагирует с формальдегидом и дает оксим, путем перегруппировки переходящий в формамид:



$$HCOH + NH_2OH - H_2O \rightarrow CH_2{:}NOH \rightarrow HCONH_2.$$

В то время предполагалось, что синтез азотистых соединений за счет нитратов происходит в листьях и что формальдегид, как наиболее легко

112* Nightingele, Schermerhorn. Nitrate Assimilation by Asparagus in the Absence of Light. New Jersey Agr. Exp. St. Bull, 476, 1928.

113* Nightingele, Robbins. Там же, 1928, стр. 472.

114* Tiedjens, Blake. Там же, 1932, стр. 547.

115* Цит. по: Fortschritte d. Botanik, VII, 224, 1937.

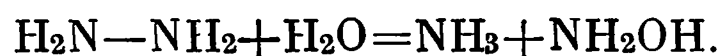
116* Comptes Rendus, 122, 149, 1896. См. также «Сборник избранных трудов академика А. Н. Баха», 1937, стр. 523.

вступающее в реакцию соединение, играет роль не только в образовании углеводов, но и азотистых соединений; но теперь это представление может быть расширено и перенесено на другие соединения, содержащие карбонильную группу (см. ниже о реакции гидроксиламина с оксалоуксусной кислотой), так как известно, что образование аминоамидов за счет нитратов происходит и без участия света (в корнях растений). Далее, теперь имеются фактические данные, указывающие на образование в растениях гидроксиламина за счет азотистой кислоты. Так, Лемуань [117*] показал, что сок из листьев сирени вызывает быстрое восстановление нитритов (при введении 1,4 мг $N - NO_2$ через 30 мин. осталось 0,575, исчезло 0,825; через 20 час. исчезло 1,350), при этом констатировано появление гидроксиламина, но в непостоянных количествах. Быстрота исчезновения нитритов заставила предполагать химическую реакцию, а так как в листьях сирени содержится такой энергичный восстановитель, как аскорбиновая кислота $CH_2OHCHOH \cdot CHCOH : COHCO$, то с ней и были



поставлены опыты по восстановлению NO_2. Оказалось, что если брать слабые растворы, то моментально образуется гидроксиламин: раствор аскорбиновой кислоты в $^1/_{160}$н., реагируя с $NaNO_2$ (0,001 норм.), переводит в гидроксиламин 51% нитрита, остается 20%. Отсюда заключение, что гидроксиламин является переходным этапом на пути превращения нитритов в аммиак.

Также Михлин [118*] наблюдал непосредственное образование гидроксиламина за счет нитритов у водорослей (Chlorella). У высших же растений только при введении формальдегида удавалось уловить гидроксиламин — очевидно, формальдегид связывает гидроксиламин в виде оксима; одновременно наблюдалось образование аммиака приблизительно в том же количестве, как и гидроксиламина. Если это соотношение не было случайным, то оно могло бы навести на мысль об общем происхождении аммиака и гидроксиламина путем гидролиза гидразина:



$$H_2N{-}NH_2 + H_2O = NH_3 + NH_2OH.$$

О том, что гидроксиламин является промежуточной ступенью при восстановлении нитритов до аммиака, говорит тот факт, что нитрогруппа ароматических соединений восстанавливается в аминогруппу, проходя через те же этапы. Динитробензол в ростках пшеницы претерпевает такие превращения [119*]:



$$C_6H_4(NO_2)_2 \longrightarrow C_6H_4\langle^{NHOH}_{NO_2} \longrightarrow C_6H_4\langle^{NH_2}_{NO_2}$$

Динитробензол (ортосоединение) — Нитрофенилгидроксиламин — *о*-Нитроанилин

[117*] Comptes Rendus, p. 1841, 1937.

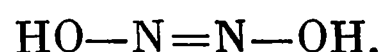
[118*] Доклады Академии наук СССР, т. XX, № 2—3, 1938.

[119*] Подробности см. в работе Гуревича «О восстановлении ортодинитробензола в зеленом растении» (Биохимия, VI, вып. 4, 446, 1941); там же — о предыдущих ра-

При восстановлении нитритов микроорганизмами Блюм [120*] мог констатировать образование гидроксиламина, применяя улавливание его (Abfangverfahren) с помощью ацетона, так как NH_2OH даже в чрезвычайно разведенных растворах с удивительной легкостью реагирует с альдегидами и кетонами, давая оксиминосоединения; с ацетоном получается ацетоксим $CH_3—C:NOH—CH_3$, который легко отгоняется с парами воды и затем при гидролизе дает гидроксиламин.

Позднее Вуд [121*] изучал восстановление нитратов до аммиака микроорганизмами (Clostridium) и пришел к выводу, что в качестве промежуточного продукта, кроме нитритов, образуется и гидроксиламин. Азо с сотрудниками также наблюдал, что восстановление нитритов до аммиака азотобактером идет через гидроксиламин [122*].

Но гидроксиламин стоит уже близко к аммиаку, из продуктов же, стоящих еще ближе к нитритам, является вероятным образование гипонитритов — солей азотноватистой кислоты HNO или, вернее, $H_2N_2O_2$, так как ей придается такая формула строения:



$$HO—N=N—OH.$$

Ангидридом этой кислоты является закись азота ($H_2N_2O_2—H_2O = N_2O$); случаи выделения закиси азота при восстановлении нитратов микроорганизмами отмечались давно [123*], а с другой стороны, неоднократно отмечалось исчезновение нитритов без образования соответственного количества какого-либо газа [124*].

Приведем из работы М. П. Корсаковой [125*] 1927 г. по изучению процесса денитрификации следующий типичный случай (в мг):

Число дней	Нитраты	Нитриты	N_2	Сумма	Разность
0	16,8	0,35	0	17,15	0
6	8,2	2,8	0,6	11,6	5,55
8	0	0	2,4	2,4	14,75
10	0	0	5,0	5,0	12,15
12	0	0	15,5	15,5	1,65

ботах (Neubergund, Welde, 1914; Lipschitz, 1920; Гуревич, 1935—1937; и др.). Восстановление *о*-динитробензола может быть легко прослежено, так как сам он бесцветен, а продукты восстановления дают ярко окрашенные соединения.

120* Blom. Biochem. Zeitschr., Bd. 194, 393, 1928.

121* Wood. Biochem. Journ., v. 32, 2000, 1938.

122* Aso, Migita, Ido. The Mechanism of Nitrogen Utilisation by Azotobacter.— Soil Science, v. 48 (1), 1939.

123* С 1868 г. (Schloesing, Reiset); позднее то же наблюдали Гийо и Дупети (Gayon, Dupetit, 1886), Гилтей и Аберсон (Giltay, Aberson, 1892), Бейеринк и Минкман (Bejerink, Minkman, 1910), Лебедев А. Ф. (1911), Сузуки (Suzuki, 1912).

124* Ampola u. Ulpiani (1899), Gran (1901), Maasen (1902), Kluyver u. Donker (1926), Корсакова (1926 и 1931). См. литературный обзор в статье В. С. Буткевича и Г. С. Русаковой.— Микробиология, 138, 1941.

125* Химизм процесса денитрификации.— Известия Академии наук СССР, 1221, 1927.

Отсюда видно, что между нитритами и свободным азотом должно стоять какое-то промежуточное соединение, количество которого сначала растет, по мере убыли нитратов и нитритов, а затем убывает сообразно возрастанию количества свободного азота (рис. 9).

В более поздней работе по изучению восстановления нитратов некоторыми анаэробами до аммиака Корсакова [126*] приходит к выводу, что и в этом случае гипонитриты должны быть одной из ступеней восстановления; для того и другого процесса даются следующие схемы.


I. (Денитрификация): $2HNO_3 \rightarrow 2HNO_2 \rightarrow 2HNO \rightarrow N_2$.


II. (Восстановление до NH_3): $HNO_3 \rightarrow HNO_2 \rightarrow HNO \rightarrow NH_2OH \rightarrow NH_3$.

Помимо приведенных данных, образование $H_2N_2O_2$ при процессах восстановления нитратов и нитритов нужно допустить на основании того факта, что при обратном процессе — окислении аммиака под влиянием нитрификаторов — определенно обнаружено появление азотноватистой кислоты. Так, Корбет [127*], учитывая продукты деятельности Nitrosomonas, обнаружил как бы временный дефицит азота, т. е. сумма азота образовавшихся нитритов и оставшегося аммиака не отвечала количеству введенного аммиака, но в конце опыта весь азот обнаруживался в виде нитритов; гидроксиламин был обнаружен лишь в небольших количествах (например, 0,1 мг), которыми нельзя было объяснить дефицит в несколько миллиграммов. Тогда было предположено, что образуется CaN_2O_2, что и подтвердилось (CaN_2O_2 в присутствии нитритов устойчив в водном растворе на холоду, но при нагревании происходит разложение с потерей части азота).

Рис. 10 воспроизводит данные одного из опытов Корбета, из которых видно, что азот гипонитритов (в данном случае — CaN_2O_2) играет видную роль как промежуточный продукт в течение первых двух недель, а затем количество его уменьшается и в конце концов сходит на нет, а взамен того растет количество нитритного азота, и в конце опыта весь азот оказывается в виде нитритов (в почвенных условиях окисление идет дальше, но в данном опыте были только нитритные бактерии).

Так как Корбет получал, как правило, реакцию на гидроксиламин, а отдельный опыт показал, что те же бактерии (Nitrosomonas) количественно переводят азот гидроксиламина в азот нитритов, то Корбет дает такую общую схему нитрификационного процесса:

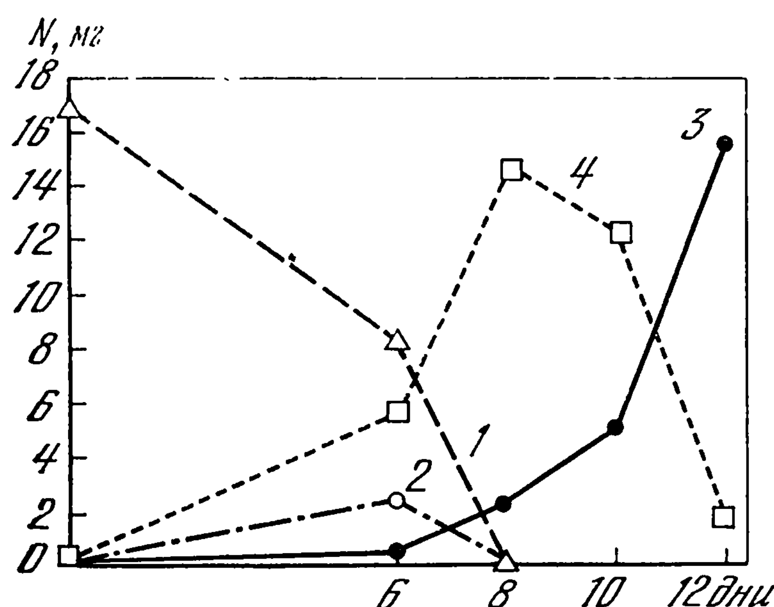

$$NH_3 \rightarrow NH_2OH \rightarrow H_2N_2O_2 \rightarrow HNO_2 \rightarrow HNO_3.$$

Для нас эта схема представляет интерес с той точки зрения, что нужно предполагать в основном тождество ступеней как при окислительном, так и при обратном процессе — восстановления нитратов до ам-

---

[126*] Микробиология, X, вып. 3, 299, 1941.

[127*] Korbet. Biochemical Journal, v. XXIX, p. 1086, 1935.



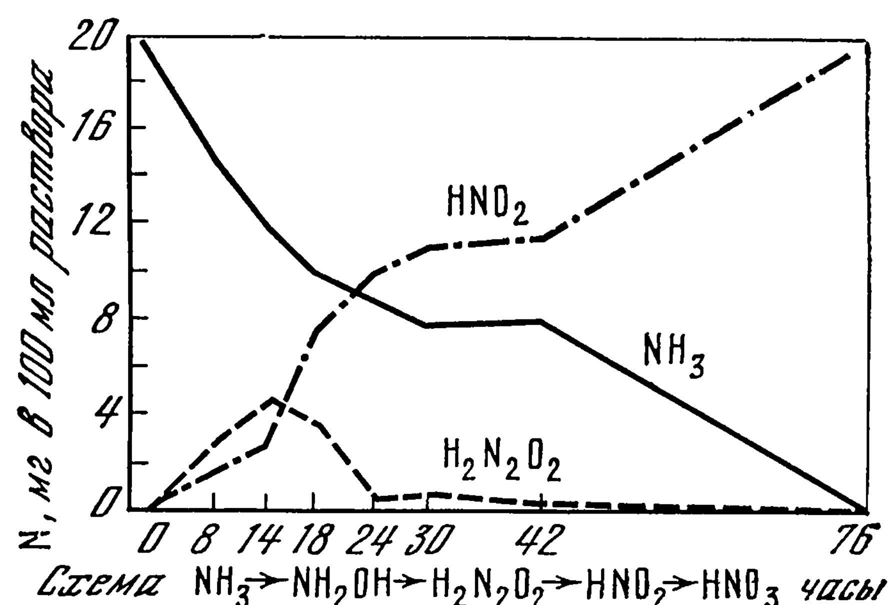
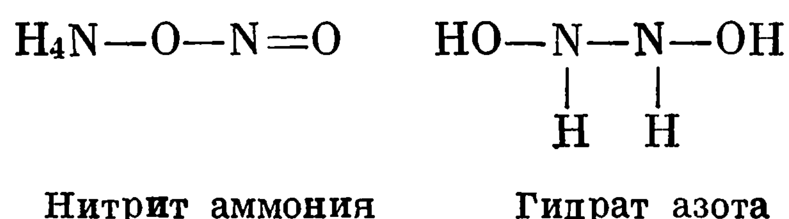


Рис. 9. Ход процесса денитрификации (опыт М. П. Корсаковой)

1 — нитратный азот; *2* — азот нитритов; *3* — свободный азот (N_2); *4* — неизвестное промежуточное соединение (гипонитриты)

Рис. 10. Образование гипонитритов в процессе нитрификации (опыт Корбета с Nitrosomonas)

миака, безразлично, идет ли он у бактерий или у высших растений. Схема Корбета является уже довольно полной, но еще имеется прямой скачок от восстановленной (и щелочной) формы, как гидроксиламин, к форме окисленной и кислой, как азотноватистая кислота; между ними должна бы стоять форма нейтральная (или амфотерная), какую можно видеть в гидрате азота или диоксигидразине, который является изомером азотистокислого аммония, но отличается от последнего тем, что атомы кислорода и водорода равномерно распределены между обоими атомами азота:



Выше мы имели в виду нитриты только как промежуточный продукт на пути восстановления нитратов до аммиака; при этом они образуются всегда лишь в очень небольшом количестве. Нитритов растения не накопляют, в этом отличие их от нитратов, которые в случае избыточного поступления через корни могут содержаться в растениях иногда в значительных количествах. Несколько иная картина получается в искусственных условиях, когда в водных или песчаных культурах раствор содержит значительные количества нитритного азота, тогда может наблюдаться вредное влияние и даже отравление растений нитритами [128*].

[128*] В почвенных условиях при заблаговременном внесении нитритов они могут и не оказывать вредного действия на растения, так как в почве (в отличие от растения) нитриты легко переходят в нитраты благодаря деятельности нитрифицирующих бактерий.

Однако мы здесь не будем входить в подробности, тем более что итоги по этому вопросу уже подводились в работах, вышедших из нашей лаборатории [129*].

Усвоение растениями свободного азота

Свободный азот, из которого почти на четыре пятых состоит одевающий земной шар воздушный океан, является первичным источником для пополнения тех резервов связанного азота, которым располагает растительный (а через последний и животный) мир, причем два пути ведут через ряд этапов от азота воздуха к азоту нервной и мышечной ткани: один путь берет начало в клетках некоторых микроорганизмов, а другой — в колонках синтеза на крупных химических комбинатах.

Здесь мы остановимся ближе только на биологических путях фиксации азота воздуха.

Уяснение этих путей стоило человечеству немалого труда — решение вопроса о роли свободного азота в жизни растений потребовало полстолетия (1837—1886) упорных исканий, много препятствий стояло на пути. «Ma il libro del natura ha l'entrate é l'uscite»,— говорят итальянцы, т. е. книга природы имеет входы и выходы, нужно только уметь их найти.

Начало строгому эксперименту в этой области положил Буссенго, впервые констатировавший в конце 30-х годов прошлого столетия особую роль культуры бобовых как важной приходной статьи при сведении азотного баланса в земледелии. Правда, предвидение участия азота воздуха в питании бобовых проскальзывало и раньше, например у Дэви (1812), хотя и в слишком общей и предположительной форме, без постановки строгого опыта. Говоря о сходстве растительных белков с животными, он указывает на богатство белками бобовых и, ссылаясь на факт длительной культуры пшеницы в чередовании с бобами без падения урожаев, высказывает мысль о том, что бобовые, быть может, заимствуют азот из воздуха. В другом месте он высказывает эту мысль в более общей форме, имея в виду происхождение азота растений вообще; но интересно, что он предлагает поставить опыты с низшими представителями растительного царства: «When glutaminous and albuminous substances exist in plants, the azote they contain may be suspected to be derived from the atmosphere; but no experiments have been made which prove this; might easily be instituted upon mushrooms and funguses» [130*].

[129*] Кроме обзорной статьи (Аммиак, нитраты и нитриты, 1926), см. работу Дикусара в «Научно-агрономическом журнале», 1925, а также: Dikussar, Mevius. Nitrite als Stickstoffquellen für höhere Pflanzen (Jahrbücher für Wissensch. Botanik, 1930) и еще более поздний обзор в работе Найтингеля с подробными литературными указаниями («Botanical Review», 85—174, 1937).

[130*] «Когда в растениях имеются глютаминовые и белковые вещества, то можно подозревать, что содержащийся в них азот происходит из атмосферы; но не было

Но как ни замечательны эти высказывания Дэви, историю экспериментального разрешения вопроса об азоте воздуха все-таки нужно начинать с Буссенго.

Как мы уже выше упоминали, Буссенго еще в ранней молодости, наблюдая хозяйство туземцев в Южной Америке, столкнулся с фактом чрезвычайно сильного действия гуано на песчаном побережье в Перу — на месте бесплодных пустошей возникали пышные плантации. Анализируя гуано, Буссенго убедился, что оно являлось главным образом азотистым удобрением (кроме того, оно содержало и фосфор). Успех этих «песчаных культур» в Перу стоял в резком противоречии с господствовавшим тогда учением Тэера, которое пыталось основать приемы удобрения на углеродном питании растений, якобы зависящем от внесения органических веществ в почву. Нужно думать, что эти южноамериканские впечатления и дали толчок дальнейшему ходу мыслей Буссенго; подвергнув критике учение Тэера, он вместо гумусовой (углеродной) теории истощения и обогащения почв выдвинул на первое место вопрос о значении азота в удобрениях. Когда он по возвращении в Европу, будучи профессором химии в Лионе, столкнулся с вопросами питания растений и применения удобрений [131*], его внимание должно было привлечь следующее обстоятельство: в сельском хозяйстве Франции тогда не применялись ни гуано, ни селитра, а между тем урожаи не только держались на хорошем уровне, но еще имели тенденцию к повышению. Так как из хозяйства отчуждались значительные количества азота — в зерне, молоке и других продуктах — и потому возвращение с навозом не могло быть полным (не говоря уж о потерях при хранении навоза), то возникал вопрос, из каких источников покрывается дефицит азота. И вот для установления всех статей азотного баланса, а также выноса с урожаями и возмещения с удобрениями других питательных веществ Буссенго затратил громадный труд, стоивший нескольких лет сложной аналитической работы. Он провел учет количества и состава всех удобрений, применяемых за ротацию каждого севооборота, всех частей урожая — зерна и соломы, корней, клубней и ботвы, клеверного сена.

Интересны сами севообороты, которые заложил Буссенго в имении Бешельбронн (Эльзас) и на которых он изучал круговорот азота и других элементов: здесь было и чисто зерновое трехполье, и знаменитое норфолькское четырехполье, и эльзасское пятиполье, близкое к норфольку,

---

опытов, доказывающих это; их легко было бы поставить с грибами и плесенью».— Agricultural Chemistry, 1812.

[131*] Какие обстоятельства в личной жизни Буссенго привели к созданию, помимо лаборатории при кафедре химии, еще и лаборатории на эльзасской ферме в Бешельбронне — об этом хорошо рассказано в известном очерке К. А. Тимирязева «Ж. Б. Буссенго», где Климент Аркадьевич с большой теплотой рисует образ своего учителя, и впоследствии он всегда вспоминал о нем с благодарностью и даже называл «духовными внуками Буссенго» тех из своих учеников, которые работали в области соприкосновения физиологии растений и агрохимии (Коссович и автор настоящей работы).

и более сложные севообороты, генотипически также связанные с норфольком. Уже в те времена был хорошо известен факт, что переход от трехполья к норфолькскому севообороту принес с собой постепенное удвоение средних урожаев в Англии, Бельгии и Голландии, а норфольк отличался от трехполья наличием клевера и корнеплодов.

Но только клевер являлся улучшающим почву растением, а хлеба и корнеплоды давно признаны были истощающими почву растениями (терминология Тэера), и если после корнеплодов получались хорошие урожаи яровых, то только потому, что корнеплоды сами получали обильное удобрение навозом и оставляли почву чистой от сорных трав; клевер же повышал урожаи следующих за ним озимых, сам не получая навоза. Факты эти были хорошо известны практикам, но только Буссенго показал, что клевер и люцерна влияют на баланс азота, располагая каким-то его источником, недоступным другим растениям, и потому сами дают большие урожаи богатого азотом сена, не только не истощая почвы, но еще и повышая ее плодородие.

Вот этот учет азотного баланса и установление роли бобовых (за 50 лет до открытия Гельригеля) и составляют главную заслугу Буссенго.

Основные черты азотного баланса в разных севооборотах стали известны Буссенго уже к 1837 г. Но мало было найти неожиданную статью прихода в этом балансе, нужно было вскрыть сущность нового явления. Поэтому в том же 1837 г. Буссенго начал и физиологические опыты, чтобы учесть роль растения в процессе накопления азота и отделить ее от роли почвы [132*].

Историю физиологических опытов Буссенго в этом направлении можно бы считать общеизвестной, так как она излагается в учебниках; однако в учебниках излагается она по Буссенго, а для нас теперь ясно, что взгляд Буссенго на его первые опыты требует пересмотра. После второй серии своих опытов, проведенных в 1851—1853 гг. (они-то обыкновенно и описываются в учебниках как главные), Буссенго стал скептически относиться к своим опытам 1837—1838 гг. как менее совершенным. Между тем именно в этих только опытах (из серии физиологической) Буссенго и наблюдал фиксацию азота бобовыми в значительных количествах (до 50 мг на сосуд), в полном согласии с данными полевых опытов. Позднее Буссенго считал, что в этих опытах источником азота мог быть углекислый аммиак атмосферы [133*], но на деле здесь имело место не проникно-

---

[132*] Позднее он поставил также опыты с почвой (без растений), чтобы проверить, не происходит ли фиксация азота в самой почве — при процессе нитрификации.

[133*] Что явно неверно, так как можно допустить лишь количественные различия в отношении злаковых и бобовых к углекислому аммиаку, а никак не качественные; затем это предположение стоит в противоречии с исходным тезисом самого Буссенго, что наиболее эффективными из всех удобрений являются азотистые удобрения (чего не могло бы быть, если бы углекислый аммиак притекал в количествах, отвечающих 50 мг, на поверхность небольшого сосуда); оно стоит в противоречии с опытами в Ротамстеде (1843) и опытами самого Буссенго в 50-х годах прошлого столетия с влия-

вение извне азотистых *веществ*, а проникновение внутрь растений микроскопических *существ*, о которых тогда ничего не было известно. Буссенго, конечно, не подозревал, что когда он брал с поля молодые растеньица клевера и тщательно отмывал корни от частичек земли, то он не мог отмыть тех бактерий, которые уже проникли через корневые волоски в ткани корня и после пересадки растений в прокаленный песок могли дать начало образованию клубеньков.

В сущности, Буссенго за 50 лет до Гельригеля имел в руках факт усвоения азота воздуха клевером и горохом, но, можно сказать, своими же руками похоронил это открытие, потому что в мышлении этого строгого аналитика допастеровских времен не могли укладываться послепастеровские идеи о проникновении не самого азота, а его аналитически неуловимых фиксаторов. Стремясь окончательно избавиться от призрака — влияния углекислого аммиака атмосферы, которое так утрированно подчеркивал Либих, Буссенго в последующих опытах (1851—1853) заключил растения под стеклянный колпак, стал брать только семена, а не всходы с клеверного поля,— и явление исчезло. Но дело было не в колпаке, а в более тщательном прокаливании и бессознательно осуществленной большей стерильности опыта. Так Буссенго «вместе с водой из ванны выплеснул и ребенка», ибо не подозревал об его существовании. Но в полевой обстановке «ребенок» все громче и громче стал заявлять о своем существовании, и к давно известным фактам положительного влияния клевера и люцерны на урожаи хлебов стали присоединяться данные и относительно других представителей семейства бобовых. В Ротамстеде в опытах 1850—1860 гг. с разным чередованием культур бобы оказались гораздо лучшим предшественником пшеницы, чем чистый пар, и за десять лет 5 урожаев пшеницы и 5 урожаев бобов содержали 827 кг азота, между тем как 10 урожаев пшеницы (без чередования с бобами) содержали только 262 кг азота на гектар. У Шульца в его «Волчьей пустоши» нельзя было получить урожая картофеля выше 8 т, а после введения в 70-х годах системы люпин — картофель урожаи пошли в гору и достигли в 80-х годах 20 т, причем анализы люпиновой почвы, проведенные Меркером в 1881 г., показали значительное обогащение почвы азотом под влиянием повторной культуры люпина.

К этому времени работы Пастера заставили думать о микроорганизмах, населяющих почву, и после работ Шлезинга и Мюнца по нитрификации (1873—1877) Бертело заговорил о возможности фиксации азота почвой, населенной микроорганизмами. Тогда Гельригель, наблюдавший в течение почти четверти столетия (1862—1885) при культуре в непрокаленном песке капризное неподчинение гороха императиву азотного минимума, которому овес послушно следовал, пришел к мысли испытать зара-

---

нием селитры на развитие подсолнечника — ведь растения без селитры не были бы «предельными», если бы углекислый аммиак атмосферы играл какую-либо роль в снабжении растений азотом.

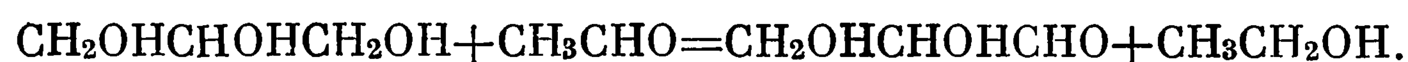
жение гороха вытяжкой из почвы,— и роль бактерий, населяющих клубеньки бобовых, в фиксации азота бобовыми была, наконец, выявлена. Вскоре после того как Гельригелем был установлен факт фиксации азота воздуха бобовыми при условии заражения их клубеньковыми бактериями, были открыты и свободноживущие бактерии, способные связывать азот воздуха при помощи энергетического материала. Честь открытия таких бактерий принадлежит тому же выдающемуся микробиологу, который первый выделил и нитрифицирующие бактерии (1890),— С. Н. Виноградскому, который в 1893 г. показал, что анаэробный микроб Clostridium pasterianum связывает азот воздуха, если питать его глюкозой, причем оказалось возможным установить известное соотношение между количеством потребленной глюкозы и фиксированного азота.

В этой же работе мы имеем первое суждение о механизме фиксации азота, именно исходя из того факта, что Clostridium вызывает маслянокислое брожение, при котором выделяется водород. Виноградский высказал предположение, что здесь имеет место восстановительный процесс и промежуточным продуктом при связывании азота является аммиак. Интересно, что это высказывание относится к тому времени, когда перед глазами Виноградского еще не стоял в качестве прообраза синтез аммиака из азота и водорода по способу Габера, не были известны тогда и другие пути связывания азота воздуха, впоследствии нашедшие применение в технике. Нужно, впрочем, заметить, что восстановительные процессы широко распространены в органическом мире, помимо основного процесса восстановления, идущего в хлорофильных зернах. Давно было известно, что в клетках дрожжей восстановительный процесс сильно выражен, а позднее было установлено, что главный продукт брожения —этиловый спирт появляется в результате восстановления альдегида: $CH_3CHO + H_2 = CH_3CH_2OH$. Установлено также, в какой форме резервируется водород, необходимый для такого восстановления. Не входя здесь в подробное рассмотрение всего ряда превращений, имеющих место при переходе от глюкозы к спирту, отметим лишь начальную фазу, образование глицеринового альдегида $CH_2OHCHOHCHO$, который сможет давать начало образованию более восстановленного и более окисленного соединения глицерина и глицериновой кислоты (реакция Cannizaro):



$$2CH_2OHCHOHCHO \rightarrow CH_2OHCHOHCH_2OH + CH_2OHCHOHCOOH.$$

В виде глицерина и отлагается резерв водорода, способного восстанавливать образующийся в конце концов из глицериновой кислоты уксусный альдегид [134*] в спирт:

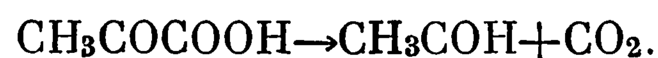


$$CH_2OHCHOHCH_2OH + CH_3CHO = CH_2OHCHOHCHO + CH_3CH_2OH.$$

[134*] Упрощенно этот процесс можно изобразить так:



$$CH_2OHCHOHCOOH \rightarrow CH_3C(OH)_2COOH \rightarrow CH_3COCOOH + H_2O.$$



$$CH_3COCOOH \rightarrow CH_3COH + CO_2.$$

Но если резерв водорода в этом случае служит для одной цели, то можно представить, что в других условиях, при наличии соответствующих катализаторов, он может служить и для другой цели, т. е. для восстановления свободного азота в аммиак. Поэтому фиксация азота воздуха не ограничивается теми случаями, в которых наблюдается образование свободного водорода [135*].

Несколько позднее (1901) был открыт Бейеринком аэробный фиксатор азота — азотобактер (несколько форм).

Вопросом о механизме фиксации азота у этих организмов занимался Костычев (1926—1931) с сотрудниками (Шелоумова и др.) [136*], причем он пришел к выводу, что и здесь начальным продуктом является аммиак. Костычев учитывал, что образование аммиака у азотобактера возможно и как следствие распада аминокислот (дезаминирование), но этот процесс наступает лишь после израсходования энергетического материала. Костычев же наблюдал образование аммиака, идущее одновременно с фиксацией азота, что возможно только в неистощенных культурах. Вот пример:

продолжительность опыта (в днях)	2	4	6
общее количество азота (в мг)	27,7	40,4	42,5
количество аммиака (в мг)	0,28	1,19	2,29

Позднее (1936—1939) Виноградский опубликовал ряд статей, в которых также доказывает, что аммиак в культурах азотобактера появляется как первая ступень связывания азота путем восстановления N_2 в NH_3. Заметим, что американские авторы Вильсон и Барк думают, что аммиак в этом случае появляется благодаря начинающемуся автолизу, с чем Виноградский не согласен. Однако В. С. Буткевич наблюдал, что «в подвижных культурах при сильном ускорении фиксации азота имеется и повышение накопления аммиака» (до 30 мг на 1 г глюкозы) [137*].

В качестве аргумента, говорящего о восстановительном характере этого процесса, приводят факт подавления связывания азота азотобактером при повышении содержания кислорода (60%) в окружающем воздухе.

Но неоднократно высказывался и другой взгляд на первую ступень связывания азота в клетках микроорганизмов, а именно, что этот процесс не является ни восстановлением, ни окислением азота, но его гидратацией, например, по типу: $N_2+2H_2O=NH_4NO_2$.

Известно, что NH_4NO_2 является солью неустойчивой и при кипячении водного раствора разлагается с выделением свободного азота, что явля-

---

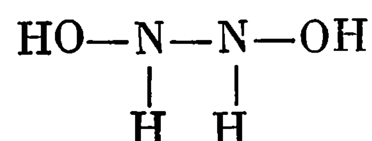
[135*] Что восстановительные процессы могут иметь место и в аэробных условиях, видно хотя бы из того, что в созревающих семенах масличных растений идет процесс образования жиров за счет притекающих к семенам углеводов.

[136*] См., например: Костычев, Шелоумова. Известия Академии наук СССР, 1931, 661—671.

[137*] Буткевич, Колесникова. Об образовании аммиака при фиксации азота азотобактером.— Доклады Академии наук СССР, 1941.

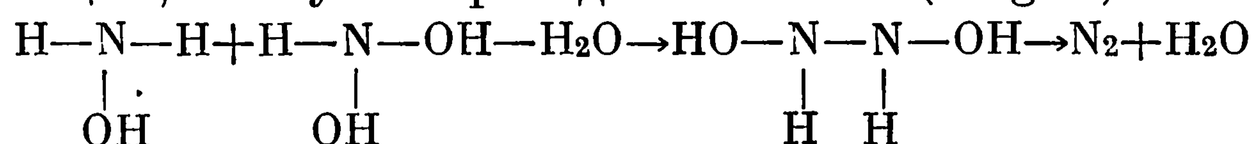
ется в лабораторной практике одним из легких методов получения чистого азота. Казалось бы, исходя из мысли об обратимости этой реакции, наличия катализаторов и энергетического материала в растении, всего проще допустить возможность этого процесса как не связанного с участием ни кислот, ни щелочей или каких-либо иных резких воздействий, которые не могут иметь места в живой клетке [138*].

Но впоследствии оказалось, что по термодинамическим расчетам названная реакция является труднодопустимой (нужно 50 атмосфер давления, чтобы возможно было начало образования NH_4NO_2 за счет молекулярного азота и воды). Тогда гипотеза гидратации приняла другую форму. В 1931 г. Блюм [139*] высказал мысль, что при гидратации азота образуется не NH_4NO_2, а его изомер — гидрат азота, в котором водород и кислород распределены совершенно равномерно между обоими атомами азота:



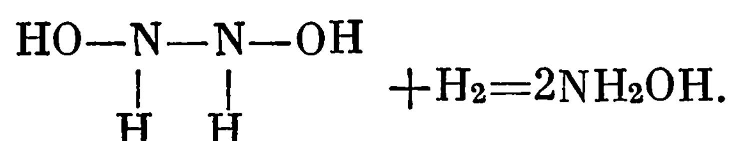
Гидрат азота

Поводом к этому предположению явилось также представление об обратимости реакции, схему которой дал Анжели (Angeli):



Гидроксиламин Диоксиаммиак Диоксигидразин (гидрат азота)

Гидрат азота является неустойчивым соединением, легко распадающимся на азот и воду. Обратная реакция, по Блюму, идет при участии катализатора, содержащего железо, а затем гидрат азота восстанавливается в гидроксиламин, который является первым устойчивым продуктом восстановления N_2:



Так как гидроксиламин с карбонильной группой дает оксимы (даже в очень разведенных растворах), то в этой реакции Блюм видит путь к образованию (при дальнейшем восстановлении) аминокислот. Если у Блюма преобладают теоретические построения над экспериментальным материалом, то Эндрес [104*] приходит к признанию роли гидроксиламина

[138*] Эта мысль неоднократно высказывалась автором настоящей работы в лекциях по агрономической химии, читавшихся в Московском университете (1892—1929). Сейчас трудно точно установить дату ее возникновения, но во всяком случае в 1912 г. она уже упоминалась. Только позднее автор узнал, что у него были единомышленники — Оскар Лев в Германии и Азо в Токио (Азо придерживался этого мнения до 1939 г.). См. обзор литературы в цитируемой ниже работе Блюма и у Мишустина (**Мишустин**. Химизм усвоения атмосферного азота микроорганизмами).

[139*] J. Blom. Chemische Vorgänge bei der Assimilation des molecularen Stickstoffs durch Mikroorganismen.— Centralblatt fur Bakteriologie und Parasitenkunde, Bd. 84 (61), 1931.

[140*] Endres. Liebig's Annalen, 518, 109, 1931.

как промежуточного продукта на основании своих опытов. Культивируя азотобактер в растворе молочнокислого натрия, Эндрес нашел, что 10% связанного азота находится в окружающем растворе в виде какого-то органического соединения, которое при окислении действием йода дает азотистую кислоту. Испытано было действие йода на гидроксиламин, гидразин, аланин, но только продукты присоединения гидроксиламина (например, изонитрозопропиловая кислота) дают при нагревании с йодом азотистую кислоту. При гидролизе неизвестное тело дает гидроксиламин; следовательно, оно содержит группу $C = N — OH$ и представляет какой-то оксим; оно не является продуктом распада, так как его количество растет с возрастанием веса клеток и параллельно общему количеству связанного азота,— поэтому нужно думать, что оно возникает в процессе связывания азота как промежуточный или как побочный продукт.

Для количественного определения Эндрес пользовался очень чувствительной цветной реакцией (реакция Грисса), основанной на образовании диазосоединения и позволяющей открыть оксим при очень большом разведении его раствора ($1:10^6$). Действие йода прямо не обнаруживает гидроксиламина — нужно нагревать раствор при 100°, тогда оказывается, что интенсивность окраски возрастает согласно как с количеством усвоенного азота, так и с потреблением кислорода культурой с весом клеток, отделяемых центрифугированием, и с возрастанием pH раствора, что зависит от окисления молочнокислого натрия (см. таблицу).

Интересен контрольный опыт, проведенный Эндресом параллельно предыдущему, но с заменой азота аргоном,— тогда никаких следов оксима в жидкости не содержалось.

Некоторые авторы: Липман, Герлах, Фогель (Lipman, Gerlach, Vögel) высказывали мнение, что азот воздуха непосредственно связывается в клетке микроорганизмов с органическими соединениями, давая аминокислоты или амиды. Мы не входим в рассмотрение этих гипотез, так как авторы их совершенно не затрагивали вопроса о механизме такого присоединения; в этом отношении построение Блюма, при всей его гипотетичности, является более конкретным.

Время (в часах)	Потреблено O_2 за 1 час на 10 куб см (в куб мм)	Сухой вес бактерий (в мг)	pH	Окраска после окисления йодом *	Количество оксима ** на 10 куб. см (мол $1 \cdot 10^{-5}$)	Всего N в 10 куб см (в мг)
0	130	0,3	7,3	—	0,5	0,024
24	370	1,2	7,7	Розовая	2,5	—
48	490	2,3	7,9	Красная	6,4	—
72	650	3,8	8,1	Темно-красная	12,0	0,21

* Реактив Грисса — Илосвея. ** Количество нитрита, умноженное на 6.

Интересно, что в своей попытке разъяснения механизма фиксации азота в клубеньках бобовых финский ученый Виртанен также пришел к построению, в котором видную роль приписывает гидроксиламину [141*].

Виртанен поставил себе задачу выяснить, во-первых, какие безазотистые соединения получают бактерии от растения хозяина, и, во-вторых, какие азотистые соединения поступают из клубеньков в корни растения. Исходным пунктом послужили следующие предварительные наблюдения: красный клевер лучше развивается без нитратов, если он заражен клубеньковыми бактериями, чем при питании нитратами без заражения, а потому нужно думать, что клевер лучше использует какие-то органические соединения, чем аммиак или нитраты. Для подтверждения этого положения Виртанен приводит такие данные своих опытов.

	$NaNO_3$	$(NH_4)_2SO_4$	Без азота, но с заражением
Сухой вес 10 растений	23,8–24,0	18,0–22,3	30,3–31,42

Автор полагает, что какие-либо органические соединения (вероятно, аминокислоты), образующиеся в клубеньках, являются для клевера лучшими источниками азота, чем аммиак и нитраты; поэтому ставился ряд опытов питания бобовых аминокислотами в условиях стерильных культур. В результате автор приходит к выводу, что аспарагиновая кислота является превосходным источником азота для клевера, в отличие от злаковых, которые не могут нормально развиваться при питании аспарагиновой кислотой и растут гораздо лучше при нитратном или аммиачном питании. Автор приводит следующие цифровые примеры (см. таблицу).

	Красный клевер		Пшеница	
	вес одного растения (в г)	количество N (в мг)	вес одного растения (в г)	количество N (в мг)
Без азота	0,028	0,14	0,117	0,8
KNO_3	2,329	50,0	2,143	35,3
Аспарагиновая кислота	4,428	90,9	0,113	3,7

С глютаминовой кислотой получились близкие результаты; другие же аминокислоты бобовыми использовались или очень плохо, или совсем не использовались. Отсюда явилось предположение, что бобовые получают от клубеньков аспарагиновую кислоту; подтверждение этого предположения Виртанен видит в том, что ему удалось констатировать выделение аминокислот клубеньками (не корнями) в окружающую среду.

Доказательство этого положения Виртанен основывает на следующем опыте: пробирка, наполненная песком, зараженным клубеньковыми бак-

[141*] Пользуемся обзором работ Виртанена на эту тему, сделанным им в 1939 г. (Transactions of the third Commission of the Internat. Society of Soil Science. New Brunswick, New-Jersey, USA).

териями, вводится в сосуд с песком, в котором развивается растение (горох); часть корней, развивающихся в пробирке, несет на себе клубеньки, остальная масса корней от них свободна. Фиксация азота и выделение органических азотистых соединений имеют место только в пробирке. В одном опыте горох, посеянный 20 сентября, к 15 ноября фиксировал 219 мг азота воздуха, из них 99,7 мг (или 46%) было обнаружено в песке, окружавшем зараженную часть корней, в остальном же песке аминокислот не было обнаружено.

Это обильное выделение наружу азотистых продуктов синтеза клубеньками, наблюдавшееся Виртаненом, кажется удивительным[142*].

Однако мы можем привести аналогичное утверждение Блюма относительно Azotobacter agile, который отдает половину фиксированного азота в окружающую среду, в отличие от Azotobacter chroococcum, у которого фиксированный азот остается в клетках[143*].

Ввиду большого количества азотистых соединений, выделяемых клубеньками наружу, Виртанен считает невозможным, чтобы это были продукты автолиза белков, находящихся в клубеньках, скорее они — продукты синтеза, еще не использованные в процессе образования белков.

Главным продуктом такого промежуточного характера на пути к синтезу белков Виртанен считает аспарагиновую кислоту. В доказательство он приводит следующие факты: если выпарить при уменьшенном давлении водный экстракт из песка, соприкасавшегося с клубеньками, то сухой остаток обнаруживает 90—98% аминного азота (в процентах от всего азота). Тот же результат дает формольное титрование. Из алкогольного экстракта при осаждении по методу Формана в осадок переходит около 50% азота, и в этом осадке автор мог обнаружить аспарагиновую кислоту — она была выделена в виде медной соли и количественно определена с помощью аспартазы. Глютаминовой кислоты обнаружено не было, найдено небольшое количество аланина[144*].

Виртанен полагает, что именно аспарагиновая кислота является тем азотистым веществом, которое бобовые получают от клубеньков и используют в процессах синтеза белков. Но если аспарагиновая кислота является главным продуктом в процессе фиксации азота, то как представить себе механизм ее образования?

Виртанен разбирает следующие возможные случаи: 1) аспарагиновая кислота получается через присоединение аммиака к фумаровой кислоте; 2) она образуется при действии аммиака на оксалоуксусную кислоту и при последующем восстановлении до аминокислоты.

[142*] В отдельных случаях у очень молодых клубеньков оно доходило, по Виртанену, до 80% фиксированного азота.

[143*] J. Blom. Chemische Vorgänge etc., Centralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde, Bd. 84, 1931.

[144*] Аланин может быть вторичным продуктом, образующимся из аспарагиновой кислоты путем отщепления CO_2.

Но оба эти пути он считает невероятными, так как в клубеньках отсутствует аспартаза.

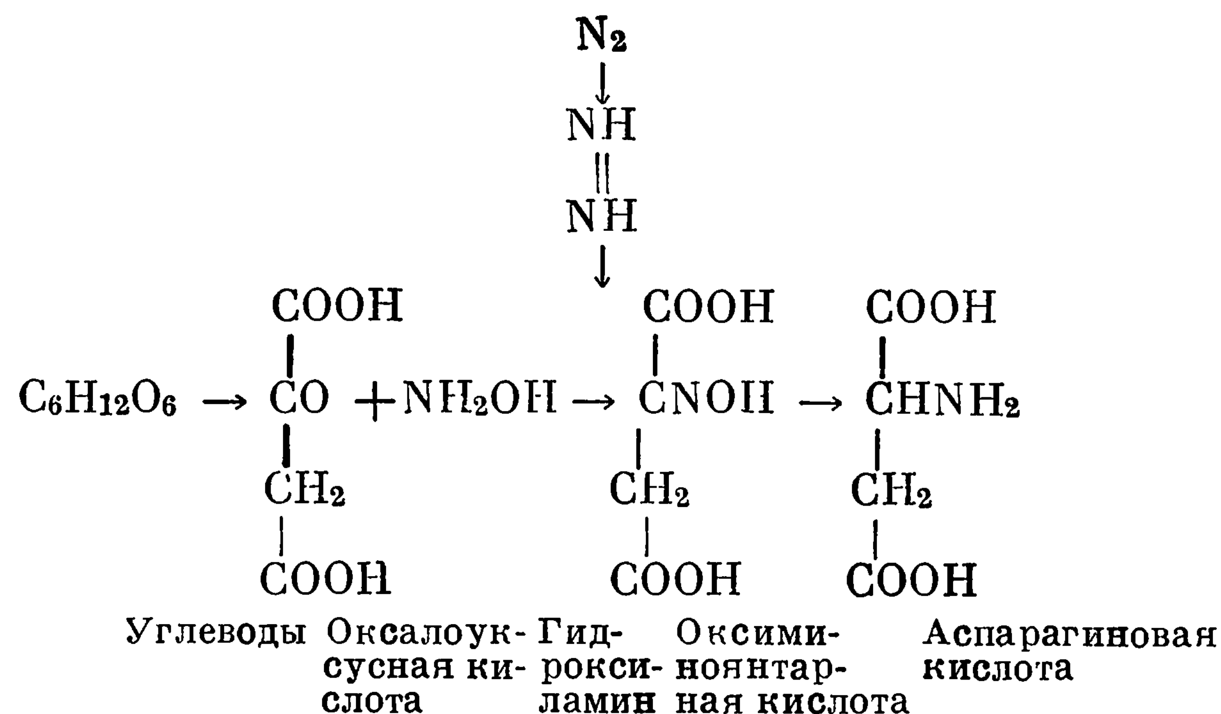
Поэтому Виртанен останавливает свое внимание на третьей возможности, при которой не аммиак, а гидроксиламин вступает в реакцию с оксалоуксусной кислотой. К этой мысли приводит автора следующее обстоятельство: при выпаривании вышеупомянутого экстракта из песка образуется некоторое количество азотистой кислоты, а азотистую кислоту могут отщеплять оксимы, образующиеся при взаимодействии гидроксиламина с кетонокислотами и при восстановлении переходящие в аминокислоты.

Чтобы подтвердить свои предположения, Виртанен занялся отысканием промежуточных продуктов (оксимов) в экстракте. Для этого сухой остаток от выпаривания в вакууме извлекался эфиром, нерастворенными оставались аспарагиновая кислота и аланин, а соединения оксимного типа должны были перейти в эфир. Действительно, в эфирной вытяжке был обнаружен оксим некоторой дикарбоновой кислоты (путем осаждения по методу Форемана); переведением в медную соль удалось установить, что это была оксиминоянтарная кислота $COOHC:NOHCH_2COOH$.

В выделениях клубеньков на это соединение приходится 1—2% всего азота, на аспарагиновую кислоту (плюс небольшое количество аланина) приходится около 90%. Виртанен считает, что оксиминоянтарная кислота является промежуточным продуктом при образовании аспарагиновой кислоты за счет гидроксиламина и оксалоуксусной кислоты.

Оксалоуксусная кислота обнаружена им в корнях бобовых, с ней гидроксиламин реагирует с жадностью без участия катализаторов, даже в разведенных растворах[145*].

Если принять, что гидроксиламин является первым продуктом связывания азота воздуха (а для этого есть данные в некоторых работах, о которых будет речь ниже), то весь механизм образования аспарагиновой кислоты может быть, по Виртанену, изображен следующим образом:



[145*] С другими кетонокислотами, как кетоглутаровая и пировиноградная, гидроксиламин реагирует гораздо медленнее, чем с оксалоуксусной кислотой.

Виртанен полагает, что бобовые снабжают бактерий оксалоуксусной кислотой, из клубеньков они получают аспарагиновую кислоту, а эта последняя, согласно работам Браунштейна и Крицман, является ключом к образованию других аминокислот благодаря обмену аминной группы при реакции с любой кетонокислотой. В пользу того взгляда, что аспарагиновая кислота образуется в клубеньках в результате усвоения атмосферного азота бактериями, говорит, по мнению Виртанена, совершенное отсутствие аспарагиновой кислоты в корневых выделениях бобовых, питающихся нитратами. В клубеньках образование ее идет весьма энергично, и энергия фиксации азота клубеньковыми бактериями во много раз больше, чем у свободно живущих бактерий.

Интересны результаты опыта по фиксации азота клубеньками, отделенными от корней: в то время как в воде этот процесс не идет, в разведенном и нейтрализованном растворе оксалоуксусной кислоты этот процесс, по Виртанену, идет весьма энергично. Вот данные этого опыта: 9,5 г клубеньков гороха помещались в 50 куб. см раствора при pH 7; в одном случае с добавлением 200 мг оксалоуксусной кислоты (I), в другом — без такого дополнения (II); в растворе содержались следующие количества аминного азота (в мг)

	При начале опыта	Через 5 час.	Реакция на оксимы через 5 час.
I	0,3	9,0	Ясная реакция
II	0,0	1,3	Нет

Таковы главные итоги работы Виртанена, несомненно интересные, но не лишенные парадоксальности и некоторых противоречий; например, Виртанен отрицает участие аммиака в процессе образования аспарагиновой кислоты, к тому же он не мог обнаружить аммиака в выделениях клубеньков. Но ведь гидроксиламина Виртанен также не обнаружил, что он объясняет быстротой его соединения с оксалоуксусной кислотой. Однако разве исключена возможность, что для аммиака также имеет место какая-либо быстро протекающая реакция присоединения и потому он не может быть уловлен как таковой? Ведь аммиак, несомненно, принимает участие в образовании аспарагина при регрессивном метаморфозе азотистых веществ семени, однако в свое время Буткевичу пришлось прибегнуть к особому приему, чтобы его обнаружить (применение анестезирующих веществ).

В конце концов не так уже важно, соединяется ли с кетонокислотами аммиак или гидроксиламин (оксиаммиак); в том или другом случае при восстановлении получаются аминокислоты. Но существенную роль в построении Виртанена играет утверждение, что растение дает бактериям оксалоуксусную кислоту и получает от них обратно излишки аспарагиновой кислоты.

Наиболее парадоксальным в опытах Виртанена является обильное выделение клубеньками азотистых продуктов синтеза в окружающую среду.

Как уже сказано, подобный случай отмечается Блюмом для Azotobacter agile, который половину фиксированного азота отдает в окружающую среду (в отличие от Azotobacter chroococcum, у которого фиксированный азот остается в клетке). Однако неясно, насколько эти явления зависят от видовых различий и насколько от нарушений нормального обмена веществ.

Опыты Виртанена повторены были с большой тщательностью в Америке Вильсоном [146*] на опытной станции в штате Висконсин. Наткнувшись на несовпадение своих результатов с данными Виртанена, Вильсон выписал от последнего не только культуру бактерий и семена гороха, но и тот песок, с которым работал Виртанен, и изучил влияние ряда условий на поведение бобовых: изменялись длина дня, интенсивность освещения, температура, изучалось влияние стадии развития растения, влияние соотношения углеводов и азотистых веществ в нем.

Общий вывод из этой серии работ Вильсона такой: выделение азотистых соединений корнями гороха, несущими клубеньки, является в климатических условиях Висконсина скорее исключением, чем правилом: оно наступает в условиях, когда развитие бобового чем-либо задерживается (например, низкой температурой). Если фиксация азота бобовым избыточна против потребления его растущими органами, то органические азотистые соединения скопляются в клубеньках и выделяются ими в виде аспарагиновой кислоты (при нормальном же росте выделения отсутствуют).

В другой работе Вильсон [147*] сообщает данные по влиянию окружающих условий на ход фиксации азота клубеньковыми бактериями.

При постоянном содержании кислорода (0,2 атм.) парциальное давление азота понижалось или переходом к частичному вакууму, или путем частичного замещения азота аргоном или гелием (замещение водородом в данном случае не годится). Варьируя парциальное давление азота от 0,04 до 1,6 атм., Вильсон наблюдал достижение максимума фиксации между 0,1 и 0,2 атм., дальнейшее обогащение атмосферы азотом не увеличивало фиксации, переход же к 0,1 атм. вызывал значительное снижение. Своеобразно влияние водорода: несмотря на то, что в конечном результате мы имеем восстановление азота до NH_2, все-таки обогащение атмосферы водородом вызывает резкое снижение фиксации азота клубеньковыми бактериями (опыт делался с клевером, имевшим клубеньки на корнях, а не с выделенными бактериями), в то время как при питании связанным азотом (например, NH_4NO_3) задерживающего влияния во-

---

[146*] Wilson, Wiss. Factors influencing excretion of nitrogen by legumes (Soil Science, 52, N 1, July, 1941). См. также: В. С. Буткевич, М. М. Гукова. Влияние температуры на фиксацию молекулярного азота бобовыми.— Доклады Академии наук СССР, № 4, 1942.

[147*] Wilson (Madison). Mechanism of symbiotic Nitrogen Fixation (Ergebnisse der Enzymforschung, VIII, Bd. 13, 1939).

дорода на поступление азота не проявлялось. Подозрение на влияние вредных примесей к водороду отпало после опытов с водородом, полученным тремя совершенно различными путями. Своеобразно, что свободно живущие фиксаторы азота, как азотобактер, относятся совершенно иначе к внешним условиям — водород не оказывает подавляющего действия на фиксацию азота, но повышение содержания кислорода до 60% останавливает этот процесс азотобактера [148*]. Поэтому приходится допустить различие в механизме фиксации азота у Rhisobium и Azotobacter, или, быть может, это различие касается какого-либо процесса, связанного с фиксацией.

Но, независимо от различия в механизме фиксации азота в том и другом случае, все-таки интересно установить, в каких размерах возможно выделение азотистых соединений во внешнюю среду. По отношению к азотобактеру обстоятельную работу выполнили Хорнер и Барк [149*]. Они имели дело с 20 линиями разных видов азотобактера, наблюдали влияние возраста культур и условий среды и из всей совокупности многих опытов пришли к следующим выводам.

В молодых культурах, в возрасте от 1 до 4 дней, обычно до 25% всего накопленного азота находится в растворимых соединениях вне клеток; в культурах более старых, в возрасте от 1 до 3 недель, во внешнем растворе может находиться до 50—70% (иногда даже до 80%) общего азота. В старых культурах это в сильной степени зависит от явления автолиза, а в молодых культурах 10—20% растворимых азотистых соединений появляется в растворе, по мнению авторов, в результате нормальной прижизненной секреции. Таким образом, деятельность азотобактера при достаточном снабжении сахаром и минеральными веществами может служить в известной мере источником усвояемого азота для других организмов.

В основе этот азот принадлежит к органическим соединениям и составляет около 10% (±3%) их углерода; почти такое же соотношение наблюдается и для азотистых веществ, находящихся внутри клетки. Что касается ближайшего состава этой смеси азотистых веществ, находящихся внутри клетки, то по мере старения культур замечается возрастание содержания белкового азота от 10% (иногда даже от 5%) до 50%.

Количество азота аминокислот на 100 куб. см раствора увеличивается с возрастом культур, но процентное содержание этой категории азота уменьшается с 10—40% в молодых культурах (от всего азота раствора) до 5—15% в старых. Аспарагиновая кислота, которой Виртанен придает особенное значение, была действительно обнаружена (по методу Foreman) и составляла значительную долю фракции аминокислот, но ее специаль-

---

[148*] Blom. Там же.

[149*] K. Horner, D. Burk. Trans of the third Comm. of the Int. Soc. of Soil Sc., 1939; Burk (Washington). Azotase and Nitrogenase in Azotobacter (Ergebnisse, Bd. III, p. 25, 1934). См. также: А. Н. Бах. Доклады Академии наук СССР, 1934.

ную роль как промежуточного звена в синтезе азотистых веществ авторы считают недоказанной [150*].

Большое внимание уделяют авторы вопросу о выделении азотобактером аммиака во внешнюю среду. Они приходят к выводу, что в чистых культурах, при отсутствии в питательной среде связанного азота, аммиак не выделяется, пока не потреблен до конца запас энергетического материала; после этого аммиак накопляется в количестве от 8 до 12% всего азота в растворе [151*].

Это число совпадает с наблюдениями Виноградского и Костычева, но авторы излагаемой работы полагают, что этот аммиак образуется вторично при распаде азотистых веществ, а не раньше, до образования этих веществ, и, следовательно, не является промежуточным продуктом при синтезе этих веществ за счет свободного азота. Общий вывод авторов таков: «Таким образом, характер промежуточного каталитического процесса теперь является более таинственным, чем когда-либо» [152*].

Нам кажется, что пессимистическое заключение Барк, будто вопрос о промежуточных продуктах является теперь даже более темным, чем прежде, не отвечает действительности, так как от ряда значительного числа прежних гипотез осталось, в сущности, уже не так много вариантов и вопрос значительно приблизился к окончательному решению. Вряд ли кто станет теперь отстаивать гипотезу непосредственного образования сложных азотистых соединений путем прямого присоединения азота к безазотистым веществам растения, как это когда-то принималось Липманом. Трудно, конечно, думать об образовании цианистых соединений, которые являют-

[150*] Вот данные опытов по осаждению белковых веществ, пептонов и органических оснований из внеклеточного раствора.

Азот (в %) в осадке от реагента

Возраст культуры	Трихлоруксусная кислота	$Al_2(SO_4)_3$	Фосфорновольфрамовая кислота	Уксуснокислый свинец
2—5 дней	14	20	29	64
10—13 дней	30	20	39	66
24 дня	40	36	54	76

Кроме того, наблюдалось, что при молодых культурах до 75% клеточного азота проходит через целлофановую мембрану, способную пропускать соединения с молекулярным весом от 6 до 10 тыс. В старых культурах, где выделяется больше белка, процент азота, переходящего в диализат, опускается до 50—60% всего азота, находящегося вне клеток.

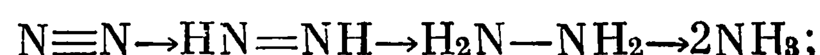
[151*] В культурах же, загрязненных другими бактериями, количество аммиака может достигать 50% общего азота в растворе.

[152*] Также и Вильсон скептически относится к утверждению Виноградского, что аммиак играет роль промежуточного продукта при связывании азота бактериями.

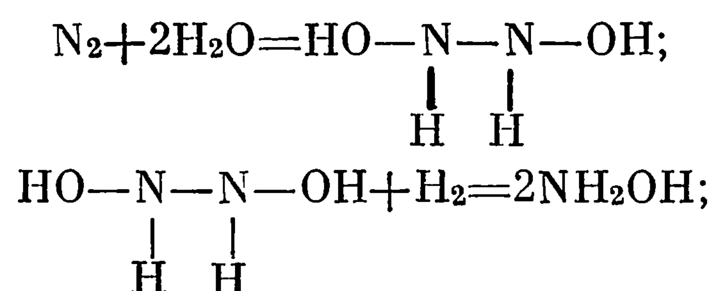
ся ядовитыми для плазмы, невероятен и путь окисления азота, так как переход от N_2 к NH_2 через окислы азота противоречил бы принципу возможной экономии энергии, который является обычным для организмов. Остаются в сущности два пути — это или прямое восстановление, или сначала гидратация, затем восстановление, но оба приводят или к аммиаку, или его производному — гидроксиламину; пути же от аммиака и гидроксиламина к аминной группе хорошо известны: и то и другое соединение реагирует с кетонокислотами, аммиак дает аминокислоты, гидроксиламин образует оксимы, при восстановлении в обоих случаях образуются аминокислоты.

Насколько близки между собой те гипотезы, которые фигурируют теперь, видно из следующих схем:

1) прямое восстановление азота (по Костычеву и Виноградскому):



2) сначала гидратация, затем восстановление (по Блюму):



3) сначала восстановление, потом гидратация (по Виртанену):



В источниках водорода в растении нет недостатка, так как любой переход спиртовой группы в альдегидную или кетонную, предельного соединения в непредельное связан с отдачей водорода. Об этом говорит ряд хорошо установленных фактов, как переход яблочной кислоты в оксалоуксусную, таков же переход янтарной кислоты в фумаровую.

Что касается конечной стадии синтеза, то в конце концов не так уже существенно, реагирует ли с кетонокислотами гидроксиламин или аммиак, в том и другом случае таким кислотам, как оксалоуксусная и кетоглутаровая, должна принадлежать важная роль в синтезе аминокислот. Гораздо важнее было бы уловить природу того каталитического процесса, который приводит к связыванию азота с водородом при обыкновенной температуре, обыкновенном давлении, чего не знает техника.

Во всяком случае, мы можем сказать, что та вольная «птичка без крыльев», в виде полетов которой Глаубер 300 лет назад образно рисовал круговорот «воздушного начала селитры», теперь приручена человеком, пути перехода от азота воздуха к азоту нервной и мышечной ткани в основе известны.

Конечно, важно пойти еще глубже, важно вскрыть до конца механизм первых стадий связывания азота микроорганизмами. Это не только существенно для физиологии, но и техника, может быть, могла бы позаимствовать отсюда пути к синтезу азотистых соединений на холоду. Мы стоим

перед трудной проблемой, но нет никаких оснований впадать в пессимизм и, подобно Барку, утверждать, что таинственность процесса связывания азота теперь стала больше, чем прежде.

При этом нужно учесть, что до сих пор вопросом о механизме фиксации азота занимались из наших крупных ученых преимущественно представители микробиологии, как Виноградский и Костычев, теперь же нужно пожелать, чтобы им ближе заинтересовались также представители биохимии и общей химии.

Часть II

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АММИАЧНЫХ И НИТРАТНЫХ СОЛЕЙ КАК ИСТОЧНИКОВ АЗОТА ДЛЯ РАСТЕНИЙ

В первой части мы подвергли рассмотрению вопрос об источниках азота с общей, принципиальной точки зрения. В частности, мы рассматривали отношение растений к аммиачному и нитратному питанию, имея в виду только ионы NO_3 и NH_4; но при применении удобрений приходится иметь дело с внесением солей, которыми снабжает сельское хозяйство химическая промышленность; тогда приобретает значение вопрос об анионах и катионах, сопровождающих NH_4 и NO_3, и надо сравнивать, например, действие на растения $(NH_4)_2SO_4$ и $NaNO_3$, а не только иметь в виду восстановленную или окисленную форму соединений азота. Поэтому и после того как усвояемость обеих форм была принципиально доказана, оставался практически важный вопрос о сравнительной оценке солей азотной кислоты и аммония в качестве удобрений, и на эту тему после опытов Коссовича и Мазэ появилось большое количество работ с весьма разнообразными результатами, причины противоречивости которых (иногда мнимой) выяснились только в последнее время.

Отношение растений к аммиачному и нитратному питанию в зависимости от реакции среды, концентрации раствора и запаса углеводов

После того как Коссович получил для $(NH_4)_2SO_4$ не только хорошие результаты, но даже развитие в этом случае было лучшим, чем при введении $NaNO_3$, Эренберг в 1907 г.* получил прямо противоположный результат. Причина в данном случае (как и во многих других) лежала в том, что в то время, когда методика определения pH была неизвестна,

* Mitteilungen d. Landw. Inst. Breslau, Bd. IV, 1907.

относились очень упрощенно к вопросу о нейтрализации физиологической кислотности $(NH_4)_2SO_4$, думая, что для этого достаточно внести $CaCO_3$; но на деле при этом получается щелочная реакция, а при щелочной реакции особенно легко перейти через грань, отделяющую полезную концентрацию аммиака от вредной. И вообще, даже при нейтральной реакции растения выносят гораздо бóльшие концентрации нитратов, чем аммиачных солей.

Если принять во внимание различия в концентрации растворов и реакции среды, то несовпадение результатов в опытах Коссовича и Эренберга становится вполне понятным: Эренберг сразу вводил в сосуды $(NH_4)_2SO_4$ и $CaCO_3$, притом в таких количествах, что даже при вскрытии сосудов во время уборки песок издавал ясный запах аммиака; Коссович же, работая со стерильными культурами, вводил $(NH_4)_2SO_4$ не в песок, содержавший $CaCO_3$, а в тот сосуд со стерилизованной водой, из которого велась затем поливка растений. Коссович хотел этим приемом избежать потерь аммиака при стерилизации, возникающих в случае введения $(NH_4)_2SO_4$ и $CaCO_3$ в один и тот же сосуд, но одновременно он невольно снижал этим и исходную концентрацию раствора $(NH_4)_2SO_4$, применив, в сущности, периодическую подкормку аммиаком вместо введения его сразу в начале опыта. Кроме того, Коссович, стремясь к соблюдению равенства условий, вводил $CaCO_3$ не только в сосуды с аммиачным, но и в сосуды с нитратным азотом; этим он ввел в действие еще один фактор, в то время совершенно не известный, а именно, кроме реакции среды и концентрации растворов, здесь замешан еще вопрос о физиологической уравновешенности растворов и об антагонизме катионов. И в этом отношении введение $CaCO_3$ явилось плюсом в случае аммиачного питания, но имело понижающее действие на развитие растений, питавшихся нитратами (более подробно на этом вопросе мы остановимся ниже)**.

Таким образом, в опыте Коссовича ряд обстоятельств не был учтен в то время; они сложились у него благоприятно для аммиачного питания, а у Эренберга дело обстояло как раз наоборот.

Не останавливаясь ближе на работах Крюгера [3*], Требу [4*], Тетчинсона и Миллера [5*], на результатах которых также сказывалась игра факторов,

---

** Отрицательное действие иона Ca в присутствии $NaNO_3$ обнаружил А. Томсон (A. Thomson. Der Wert der Ammonsalze für die Ernährung höherer Pflanzen, 1922). То же наблюдалось в нашей лаборатории в опытах Дикусара в 1926 г. (см. ниже).

3* Landwirt. Jahrb., 1905.

4* Berichte d. Deutschen. Bot. Ges., 1903.

5* Centralblatt für Bacteriologie, 1911. Опытам этих авторов нередко придается значение, которого они на деле не имеют, так как помимо очень низкого уровня урожаев в них заключаются совершенно незакономерные различия и несогласие показаний одноименных сосудов, например:

	$NaNO_3$	$(NH_4)_2SO_4$		
		Без $CaCO_3$	$+CaCO_3$	$CaCO_3$+нитр. бакт.
Вес растения (в г)	0,973	0,257–1,019	0,888–0,973	1,028–1,680

в то время не учитывавшихся, отметим прежде всего неверное представление о нейтральности растворов солей аммиака в присутствии $CaCO_3$; на деле же в самом начале опыта только что посаженные ростки в этих случаях страдают от щелочности, и только потом эта картина изменяется, но первичная задержка роста при аммиачном питании дает возможность «нитратным» растениям значительно уйти вперед в развитии.

Характерный случай устранения не только физиологической кислотности, но и вреда от начальной щелочности мы имеем в наших опытах[6*] по синтезу аспарагина за счет аммиака и нитратов в этиолированных проростках, когда эти последние в очень большом количестве высаживались на сетках, натянутых на невысоких кристаллизаторах. Тогда исходная щелочность растворов, содержавших $CaCO_3$, парализовалась выделяемой корнями углекислотой.

При такой постановке мы наблюдали *не только выравнивание результатов по аммиачному и нитратному питанию, но даже явный перевес на стороне первого*, если брать за критерий энергию образования аспарагина или вообще синтез органических азотистых соединений за счет той или другой формы азота.

Вот пример из опытов с кукурузой.

100 этиолированных ростков после 10-дневного пребывания на растворах содержали (в мг):

	I. Дистиллированная вода	II. Раствор $Ca(NO_3)_2$	III. $NH_4Cl+CaCO_3$
Азот аспарагина	104,5	160,7	269,5
» органических веществ	755,6	844,6	935,1

Здесь содержание аспарагина в растениях, получивших аммиак, в 2,5 раза превысило содержание его в контрольных растениях, а в случае нитратов это отношение отвечает приблизительно 1 : 1,5; увеличение азота органических соединений за время опыта вдвое выше при аммиачном питании, чем при нитратном (179,5 и 89 мг прироста против контроля). Таким образом, результаты этого опыта совпадали с результатами, полученными Коссовичем, хотя путь устранения первоначальной щелочности был здесь иной, но позднее наступающее проявление физиологической кислотности предотвращалось также присутствием $CaCO_3$ или, вернее, $Ca(HCO_3)_2$.

Некоторыми авторами высказывалось мнение[7*], что в сернокислом аммиаке вреден сам аммиак, а не серная кислота. Вероятно, такая пара-

---

Здесь является совершенно непонятным, почему на $(NH_4)_2SO_4$ при заражении нитрификаторами получился бóльший урожай, чем на селитре, а между тем авторы, придающие большое значение этому заражению, не замечают указанного противоречия.

[6*] См. статьи Ритмана, Калинкина и др. в кн. «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», тт. VII—IX, 1910—1914.

[7*] См. Г. Г. Петров. Усвоение азота высшими растениями на свету и в темноте (стр. 304 — приложения к XI тому «Трудов лаборатории Д. Н. Прянишнико-

доксальная формулировка являлась только следствием неудачного выражения другой мысли, что бывают случаи, когда и после устранения вреда от серной кислоты остается вредное действие избыточно введенного аммиака, особенно при щелочной реакции среды. В приведенной же выше упрощенческой и слишком общей форме это мнение явно неверно, так как иначе нейтрализация вообще не помогала бы. Но раз такое мнение высказывалось, то мы в свое время провели несколько демонстративных опытов, наглядно доказавших неверность такого положения.

Прежде всего проведены были опыты со сменой раствора, при которых мы исходили из такой мысли: частая смена растворов будет оказывать положительное действие, если вред вызывается физиологической кислотностью $(NH_4)_2SO_4$, если же дело во вреде самого аммиака, то смена растворов будет только усиливать этот вред. Получился ясный ответ в пользу первого положения.

Вот пример из опытов Е. В. Бобко и О. И. Соколовой, проведенных в нашей лаборатории в 1918 г. (смена растворов — два раза в неделю).

Ячмень в водных культурах

	Источник азота	$(NH_4)_2SO_4$
Вес растения (в г)	Без смены раствора	1,63
	При смене	9,45

С горохом результат получился еще более резкий (рис. 11).

В 1922 г. опыты эти были повторены с применением методики Серенсена для определения pH растворов; тогда оказалось, что изменение реакции идет очень быстро. Так, если взять достаточно развитое растение и поместить в небольшой сосуд, то уже через сутки реакция раствора $(NH_4)_2SO_4$ снижается от pH 6,2 до pH 3,9; при этих условиях даже ежесуточная смена растворов недостаточна (поэтому мы перешли к текучим растворам, о чем будет речь ниже).

Кроме нейтрализации и смены растворов мы применили в 1923 г. еще третий метод устранения физиологической кислотности — введение

ва», 1917). Позднее было высказано утверждение, что физиологическая характеристика солей не является постоянной, но что она зависит от реакции среды, что, например, NH_4Cl может стать физиологически щелочной солью при кислотности среды, отвечающей pH от 3 до 4. Ср.: Maximov. Studja nad fisiologiczna reakcja soli amonowych, Poznan, 1929 (odbitka z Roznikow Nauk Rolniczych i Lesnych). Фактически, действительно, удается в очень кислой среде наблюдать большее поглощение Cl, чем NH_4, но это достигается благодаря тому, что оба иона ставятся в неодинаковое положение, так как раствор, подкисленный с помощью HCl, содержит больше ионов Cl, чем ионов NH_4, и ион Cl может поступить в растение как вместе с NH_4, так и с H, а ион NH_4 поступает только вместе с Cl.

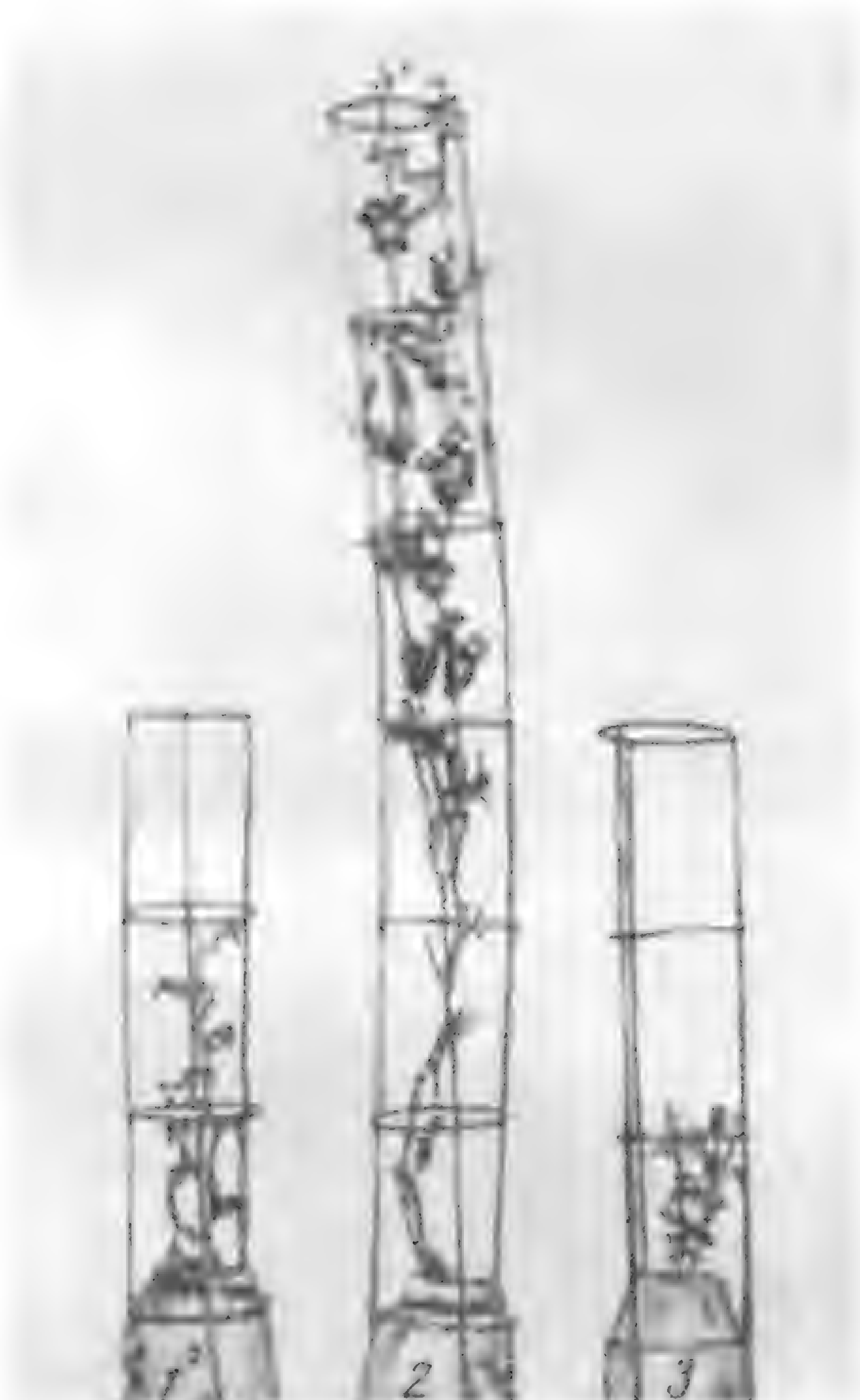
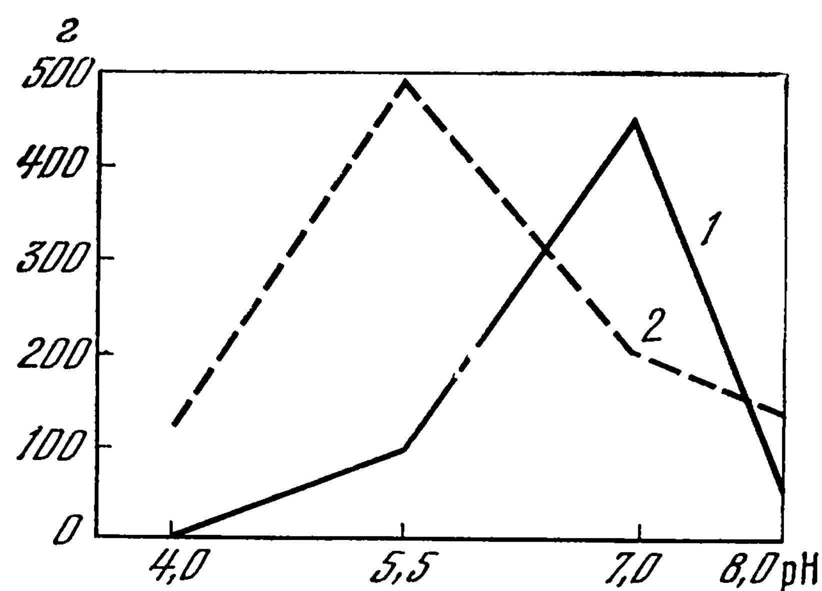


Рис. 11. Влияние смены растворов при питании $(NH_4)_2SO_4$

1 — без смены раствора; *2* — при смене раствора; *3* — без смены раствора $[(NH_4)_2SO_4 + CaCO_3]$

Рис. 12. Вес корня сахарной свеклы при различных величинах pH и питании аммиачным (*1*) и нитратным (*2*) азотом



аммиака в соединении не с сильными кислотами, как H_2SO_4 и HCl, но с более слабыми, включительпо до углекислоты [8*].

Правда, углекислый аммоний считался самой вредной для растений из всех аммиачных солей, но в прежних опытах не различалось влияния щелочности от влияния аммиака, поэтому мы взяли не только бикарбонат аммония, но еще пропускали в раствор ток CO_2, чтобы снизить pH несколько ниже 7, тогда эта форма введения аммиака оказалась наилучшей,

[8*] Поводом к пересмотру вопроса об отношении растений к углекислому аммиаку (особенно бикарбонату) послужила для нас вышеотмеченная идея о близости процессов превращения азотистых веществ у растений и животных, причем, помимо общего единства, особенно поразителен случай совпадения влияния NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$ на синтез амидов в растительном и животном организме, а именно подавление процессов синтеза (аспарагина в ростках люпина и мочевины в печени), в то время как синтез мочевины совершенно гладко протекает при введении в кровеносную систему печени NH_4HCO_3 (работа: Rumpf, Kleine. Zeitschrift f. Biologie, Bd. 34). Подробнее об этом см. в докладе автора во время «Russische Naturforscherwoche» [Недели русских естествоиспытателей] в Берлине в 1927 г. (Die Einheitlichkeit der Principien im Stickstoffwechsel bei Pflanzen und Tieren: напечатано в сборнике «Die Naturwissenschaften in der Sowietunion». Berlin, Königsberg, Ast-Europa Verlag, 1929).

как это видно из следующих данных 12-дневного опыта З. В. Логвиновой с ростками гороха (концентрация солей — 0,001 н.).

	Вода	NH_4Cl	$NH_4H_2PO_4$	NH_4HCO_3	$NH_4HCO_3+CO_2$
Средняя длина стеблей (в см)	4,3	4,1	5,0	5,8	9,7
Средняя длина корней (в см)	8,1	7,6	9,2	8,0	10,6

Из этого ряда цифр ясно видно, что о вреде аммиака в данных условиях не может быть и речи, но, чем сильнее кислота, сопутствующая аммиаку, тем хуже развиваются растения.

Из другого опыта видно, что развитие растений по аммиаку шло не хуже, чем по нитратам.

	Вода	$Ca(NO_3)_2$	NH_4HCO_3+ $+CO_2+CaCO_3$	NH_4HCO_3+ $+CO_2+CaSO_4$
pH	5,7	5,5	6,9	6,7
Средняя длина корней (в см)	7,0	10,9	11,1	11,0
Средняя длина стеблей (в см)	3,7	20,1	19,1	20,7

Так было еще раз подтверждено, что главным злом в солях аммиака, которыми промышленность снабжает сельское хозяйство, являются сильные кислоты — серная и соляная, и сравнивать аммиачное и нитратное питание, не устранив влияния физиологической кислотности, невозможно. Конечно, у таких солей, как $NaNO_3$, есть противоположное свойство — физиологическая щелочность, но это является гораздо меньшим злом, так как корни растений выделяют углекислоту, и даже в водных и песчаных культурах щелочность сильно смягчается благодаря образованию бикарбонатов (а в почвах щелочность жадно связывается рядом ацидоидов), в то время как накоплению свободных кислот растение ничего противопоставить не может.

В наших опытах сравнения сменных и бессменных растворов обнаружилось, что при установлении одинаково исходной реакции (pH 6,2) через 48 час. растения на $(NH_4)_2SO_4$ резко смещают реакцию до pH 3,3—3,5, а в случае $NaNO_3$ pH поднимается только до 7,3.

После того как устранен главный фактор неодинакового отношения растений к $(NH_4)_2SO_4$ и селитре, возникают дальнейшие вопросы более тонкого регулирования реакции среды, концентрации растворов и соотношения соответствующих ионов применительно к тому и другому источнику азота.

Уже в 1923 г. мы пришли к мысли о том, что нужно отыскивать свои оптимальные условия для использования растением аммиака и нитратов, а не испытывать их «при прочих равных условиях», как это стремились делать раньше. Поэтому в 1924 г. были поставлены две серии культур — аммиачная и нитратная — с установкой определенных градаций pH (от 3 до 8) путем регулярного приливания децинормальной кислоты и щелочи (опыты П. Р. Купреенко). В этих опытах впервые получилось, что оптимум для нитратной серии лежит при ином pH, чем для серии аммиачной, а кроме того, обнаружилось более резкое падение урожая в обе стороны от оптимальной точки при аммиачном питании, чем при нитратном [9*].

Но далее мы перешли к опытам с текучими растворами, так как приведение к определенному pH (даже ежесуточное, если объем сосуда невелик) оказалось связанным все же со значительными сдвигами реакции против заданного уровня.

Метод текучих растворов был впервые применен, насколько нам известно, П. С. Коссовичем в 1902 г.[10*], причем растения по пышности развития сильно отличались от растений в обычных песчаных культурах; впоследствии текучими растворами пользовался Ольсен [11*] в Дании и ряд авторов в Соединенных Штатах [12*].

В нашей лаборатории начало применения метода текучих растворов было положено опытами Дикусара с сахарной свеклой в 1926—1928 гг. В этих опытах четко выявилось различное положение оптимума pH для аммиачного и нитратного ряда (рис. 12), так что на вопрос, что́ лучше — аммиак или нитраты, ответ получается неодинаковый, в зависимости от реакции среды: при нейтральной реакции аммиак был лучшим источником азота, чем нитраты, а при кислой реакции получился прямо противоположный результат. При повторении этого опыта с кукурузой получился совершенно тождественный результат.

9* Эти опыты были поздно поставлены, и растения не достигли полного развития, поэтому урожаи были невелики, но различия в росте наметились достаточно ясно. Приведем здесь только данные для аммиачной серии (опыт проведен с кукурузой):

	I	II	III	IV	V
pH	3,0	4,5	6,0	7,0	8,0
Вес растений (в г)	1,02	9,97	14,09	9,7	3,80

Как видим, развитие растений целиком зависит от pH, причем для получения pH 3 не нужно было вводить кислоты — растение само доводит pH раствора $(NH_4)_2SO_4$ до этого предела, после чего всякий сдвиг прекращается, но прекращается и рост растения. Отсюда видно, что все старые опыты (Раутенберг, Пич и др.), проводившиеся без нейтрализации, были скорее опытами по влиянию низких ступеней pH на развитие растений, чем опытами по аммиачному питанию.

10* Журнал опытной агрономии, т. III.

11* Comptes Rendus de Laboratorie Carlsberg, 1923.

12* Alison, Shive et al. American Journal of Botany, 1923.

По более детальной схеме проведены были Дикусаром опыты в текучих культурах с капустой, при этом получился такой вес урожая (на одно растение, в г)

	Кочан	Листья	Все растение
1. При pH 7			
$(NH_4)_2SO_4$	507	393	900
NH_4NO_3	505	374	879
$NaNO_3$	286	251	537

2. При pH 5 кочан не образовался, вес листьев был такой:

$(NH_4)_2SO_4$	92	$NaNO_2$	323
NH_4NO_3	323	$NaNO_3$	498

Здесь опять ясно выступает преимущество аммиачного питания при нейтральной реакции и нитратного — при кислой; $NaNO_2$ и NH_4NO_3 занимают промежуточное положение.

Как нередко бывает, общий ход развития науки приводит в разных странах к тем же самым мыслям и итогам исследования. Так было и при отыскании наилучших условий усвоения аммиака и нитратов растениями. У нас мысль о необходимости двух параллельных рядов с изменяющимся pH стала осуществляться с 1924 г. (опыты Купреенко), а в более совершенной форме (в текучих культурах) проведены опыты Дикусара в 1926 и следующих годах. В 1927 г. в Германии я получил приглашение повторить мой доклад по азотному питанию в Гейдельберге, в местном химическом обществе, где были в значительном числе представлены химики [13*], работающие в лабораториях мощного азотного завода в Оппау, и я получил приглашение осмотреть и завод (куда доступ был нелегок) [14*].

После осмотра завода и связанных с ним химических лабораторий [15*] мне показали вновь созданную физиологическую лабораторию и теплицу,

[13*] Среди слушателей находился также известный представитель агрономической химии, 80-летний профессор А. Майер, в то время уже бывший в отставке.

[14*] В 1923 г. я, имея рекомендательное письмо от Габера, не мог попасть на крупнейший завод в Лейна, работающий по методу Габера, но в 1931 г., во время кризиса сбыта, администрация этого завода сама прислала мне приглашение посетить завод.

[15*] Эти лаборатории занимали в 1927 г. большое четырехэтажное здание, в них работало около 150 докторов химии (помимо химиков, контролирующих производство на самом заводе), которые могли работать по любому вопросу, связанному с азотом (будь то общая химия, или технология, или физиологическая химия) в условиях очень хорошего снабжения реактивами и аппаратурой, но с одной оговоркой — печатание возможно только с разрешения Азотного синдиката. Кроме лаборатории и теплицы для физиологических опытов, имелось еще недалеко от завода опытное поле площадью 17 га и вегетационный домик на 6 тыс. сосудов, поливаемых по весу дистиллированной водой до трех раз в день. Эти вегетационные и полевые опыты имели целью практическое испытание новых марок удобрений, выпускаемых Азотным синдикатом, причем, кроме растений полевой культуры, в домике велись опыты с декоративными растениями, и масса ярких цветов придавала ему живописный вид. В этом учреждении работали 12 научных сотрудников и 18 человек технического персонала из средней школы садоводства и огородничества.

руководить работами в которой был приглашен известный физиолог Клейн (из Вены). Показывал мне теплицу непосредственный исполнитель опытов Пиршле, ассистент Клейна, и я увидел точно такую серию опытов в текучих культурах, какие проводил у меня в 1926 г. Дикусар; растение было другое — табак, но результаты совершенно совпадали с теми, какие были получены в опытах с сахарной свеклой и кукурузой. Пользуясь богатыми средствами Азотного синдиката, Пиршле в последующие годы мог провести опыты с 20 растениями, с 7 ступенями pH в каждом случае, но основные результаты были такие же, что и у нас. Отдельные растения в опытах Пиршле оказывали известное предпочтение нитратам (Chenopodium, рапс, тыква, гречиха), а другие — аммиаку (соя, рис, просо, лен), но обычно в интервале pH 5,5—6,5 результаты сближались, и оптимальное развитие при аммиачном питании приходилось на более высокое pH, чем при нитратном, но вообще оптимальная зона при аммиаке была менее растянута, чем в случае нитратов.

В согласии с нашими наблюдениями и данными Пиршле стоят результаты опытов Тайдженса и Робинса с томатами[16*], причем в этой работе расхождение оптимума для нитратов (pH 4—5) и аммиака резче выражается, чем у Пиршле.

Говоря выше об опытах Дикусара, мы коснулись только одной их стороны — влияния pH на результат питания аммиаком и нитратами при одинаковом составе питательного раствора в других отношениях. Но одновременно в этих опытах выявилось и еще одно обстоятельство — не только pH, но и состав сопровождающих катионов в том и другом случае должен быть различным. Именно когда был произведен анализ золы урожаев 1926 г., то оказалось, что при кислой реакции (pH 5,5) растения, питавшиеся аммиаком, содержали мало кальция, почти вдвое меньше, чем при нитратном питании. Тогда в следующем году произведены были опыты с разной дозировкой кальция, при этом оказалось, что в аммиачном ряду полезно повысить количество Ca (например, с 40 до 160 мг), а при питании $NaNO_3$ лучше снижать это количество.

Вот пример из опытов с сахарной свеклой 1927 г.

	I. При pH 7,0		II. При pH 5,5	
Количество Ca в литре (в мг)	10	40	40	160
Вес корня при аммиачном питании (в г)	58,5	452	100,5	248
Вес корня при нитратном питании (в г)	462	132,7	—	—

[16*] Tiedjens, Robbins. The Use of Ammonia and Nitrate Nitrogen by Certain Crop Plants. (New-Jersey Agr. Exp. St. Bul., 526, 1931).

Так мы встретились еще с одним фактором (кроме pH), для которого нужно создавать не тождество условий, а, наоборот, находить свой оптимум для того и другого источника азота.

Явления антагонизма между Ca^{++} и H^{+} были нами описаны еще в 1923 г. [17*], но с антагонизмом между NH_4^{+} и Ca^{++} мы встретились лишь при описываемых опытах 1926—1927 гг.; особенно велико значение кальция при pH ниже 7, когда Ca^{++} является антагонистом как для ионов аммония, так и водорода.

Мы прежде, в 1900—1910 гг., не думали о том, что если мы заменяем в смеси Кнопа или Гельригеля нитратный азот аммиачным, то, хотя количество кальция и выравнивается с содержанием его в смеси Гельригеля (путем введения $CaCO_3$ или $CaSO_4$), все же физиологическая уравновешенность раствора нарушается, ибо количество одновалентных ионов сильно увеличивается (благодаря введению NH_4^{+}), а количество двухвалентных при этом изменению не подвергалось. Если даже половину азота нитратов заменить азотом аммиака (как это было сделано мною в 1902 г. при составлении так называемой «питательной смеси Прянишникова»), то уже сказывается нарушение физиологического равновесия, и для его восстановления необходимо ввести дополнительное количество Ca (конечно, в виде нейтральной соли, как $CaSO_4$, чтобы не изменить pH раствора). Вот пример из опытов В. С. Ивановой с овсом в песчаных культурах (1927).

Количество кальция	Ca по норме Гельригеля	Двойное количество Ca	Четверное количество Ca
Вес надземных частей овса (в г)	14,3	18,1	19,3

При полной замене азота нитратов на азот аммиака наблюдалось еще большее влияние введения Ca (в виде $CaCl_2$), как видно из следующего опыта Т. Т. Демиденко с табаком (рис. 13).

Как известно, прежде, исходя из мысли, что аммиачный азот вообще хуже нитратного, пытались найти некоторые коэффициенты (например, 90%) для оценки действия азота аммиака по сравнению с азотом селитры, действие которого принималось за 100 (Павел Вагнер). Мы же на основании вышеупомянутых опытов пришли в 1928 г. к заключению, что такого постоянного коэффициента не существует, что при известных условиях действие аммиака может быть и выше 100% и соотношение между действием обоих источников азота меняется сообразно влиянию ряда факторов (как внешних, так и внутренних) то в пользу одного, то в пользу другого источника [18*].

Выше мы рассматривали преимущественно такие опыты по сравнению аммиачного и нитратного питания, при которых каждый источник

[17*] Prianischnikow. Ueber Bedeutung des Kalziums für die Pflanzen, Berichte der Deutschen Botan. Gesellschaft, 1923.

[18*] Труды ЦИНС, 1928; Biochemische Zeitschrift, 1929, H. I.

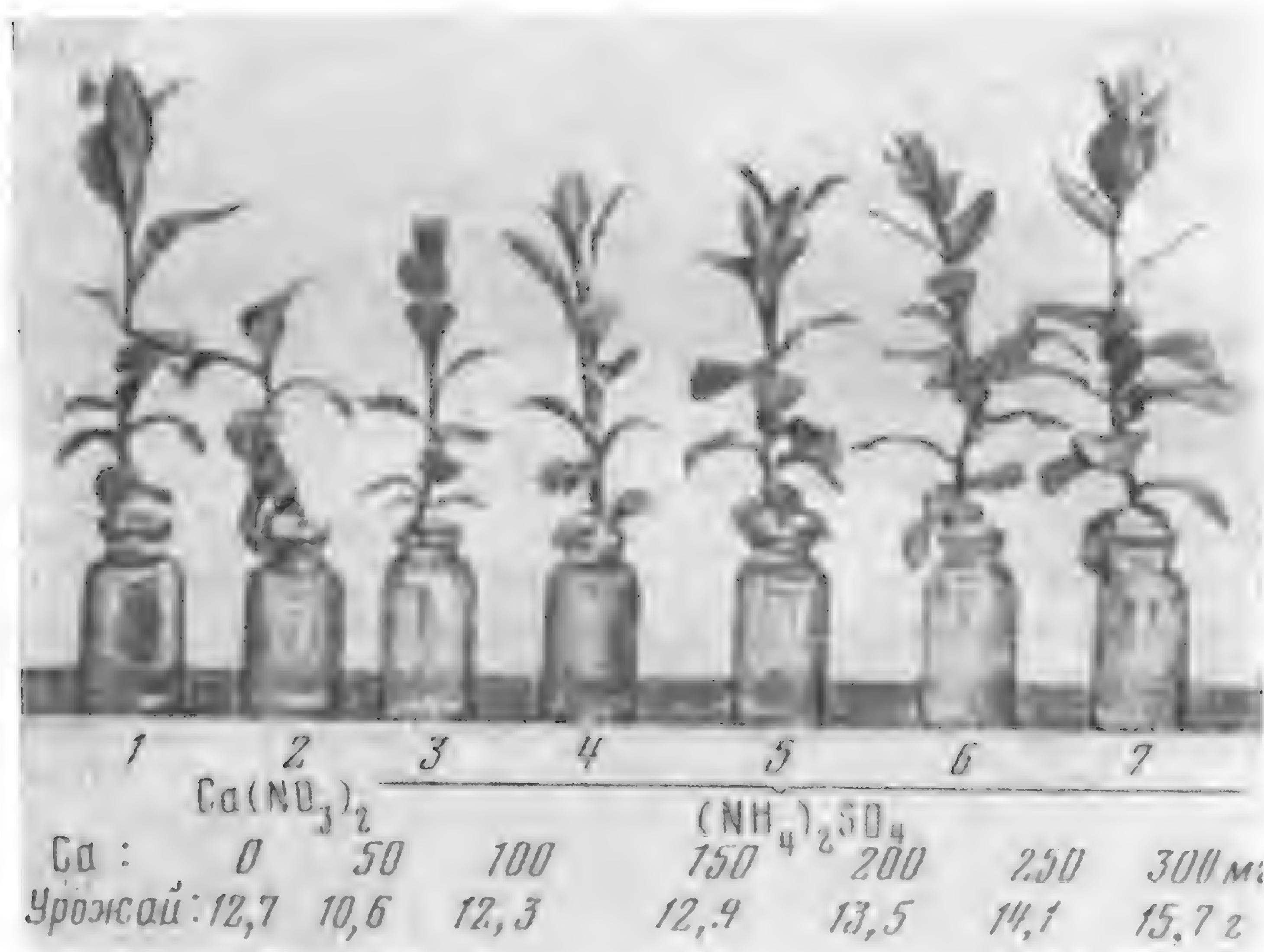


Рис. 13. Влияние увеличения концентрации кальция при аммиачном питании

В строке «Са» показано количество добавочного кальция (в виде $CaCl_2$), данного дополнительно к норме от содержания его в варианте с $Ca(NO_3)_2$

азота вносился в отдельный сосуд (исключение составляют некоторые опыты Мазэ); теперь же мы остановимся на таких опытах, когда оба источника дают одновременно, причем при краткосрочных опытах является возможность исключить все посторонние катионы и анионы, а именно ввести в качестве источника азота NH_4NO_3 и определить, что́ растение быстрее поглощает — NH_4OH или HNO_3.

Помимо большого физиологического интереса опыты с NH_4NO_3 приобретают особое значение также и с точки зрения непосредственного применения азотистых удобрений в практике, так как теперь главным продуктом, которым азотная промышленность снабжает сельское хозяйство, является аммиачная селитра.

Если автор 45 лет тому назад (1900) назвал NH_4NO_3 удобрением будущего, то теперь нужно признать, что предположения того времени во многом подтвердились. Остается, конечно, в силе, что эта соль стоит выше сульфата аммония и селитры по высокопроцентности (35% N), отсутствию балласта, но представление о физиологической нейтральности NH_4NO_3 оказалось преувеличенным, а когда перешли к обращению с большими массами NH_4NO_3 и столкнулись с хранением не в склянках с притертыми пробками, а в больших количествах на складах, то проявилась его гигроскопичность и наклонность слеживаться; поэтому в За-

падной Европе и не применяют эту соль в отдельности, а только в смеси с негигроскопичными туками (как преципитат, K_2SO_4 и т. п.).

Однако применение в смесях не мешает NH_4NO_3 иметь большое практическое значение и на Западе, и для физиолога и агрохимика изучение свойств этой соли важно не только ради нее самой — оно позволяет еще лучше осветить некоторые стороны вопроса об отношении растений к аммиачному и нитратному питанию, чем опыты с $(NH_4)_2SO_4$ и $NaNO_3$.

Мы впервые имели дело с NH_4NO_3 в песчаных культурах 1898 г. Бывший тогда ассистентом по кафедре В. В. Винер, ревностный пропагандист вегетационного метода (впоследствии более известный как организатор Шатиловской опытной станции), предложил при проведении опытов студентами ввести в качестве источника азота NH_4NO_3, чтобы снизить общее количество солей в песчаных культурах. Я не возразил, исходя из тогдашнего представления о физиологической нейтральности NH_4NO_3. В результате опыты 1898 г. с фосфоритами оказались неудачными — все растения получили способность использовать фосфорит (в отличие от опытов 1896 и 1897 гг.). Тогда мы не решились сделать конечного вывода, опасаясь, не было ли допущено какой-либо общей ошибки исполнителями опытов (например, случайное введение KH_2PO_4 в какой-либо раствор общего пользования), но этот случай побудил нас в ближайшие годы поставить вопрос о влиянии источника азота на отношение растений к фосфоритам, и оказалось, что ошибки в студенческих опытах 1898 г. не было — при введении NH_4NO_3 (даже в размере $^1/_4$—$^1/_2$ от общей дозы азота) все растения получают способность использовать фосфорную кислоту фосфорита.

Наиболее ясная картина влияния разных степеней замены азота NO_3 на азот NH_4 выявилась в 1900 г. в опытах Лушникова и Тулайкова; не будем здесь приводить подробностей постановки и цифровых данных по этим опытам, так как они приводились не раз в предыдущих статьях и вошли в учебник [19*]. Эти факты приводили к мысли, что NH_4NO_3 является, вопреки принятому тогда взгляду, солью физиологически кислой, т. е. что аммиак поглощается быстрее, чем азотная кислота, и последняя разлагает фосфорит. Однако это было только наиболее вероятным, по нашему мнению, объяснением — нужно было подвергнуть его испытанию наряду с другими возможными предположениями. В то время мы считали, вообще говоря, мыслимыми следующие четыре возможности.

1. Азотнокислый аммоний подвергается частичной нитрификации [20*], благодаря чему возможно создание кислой среды даже в том случае, если бы эта соль сама по себе была физиологически щелочной.

2. Азотнокислый аммоний является солью физиологически нейтральной, поэтому он не мешает растворяющемуся воздействию корневых выделений, в отличие от $NaNO_3$ и $Ca(NO_3)_2$.

[19*] Агрохимия, 3-е изд., 1940, стр. 330.

[20*] Хотя идет речь о культуре в песке, промытом кислотой, но все же занесение бактерий возможно.

3. Азотнокислый аммоний оказывает прямое растворяющее воздействие на фосфорит, не зависящее от усвояющей деятельности растения.

4. NH_4NO_3 может являться, вопреки ожиданиям, солью тоже физиологически кислой, но не со столь резко выраженной кислотностью, как сернокислый аммоний.

Одно за другим подвергались экспериментальной проверке эти положения, и последовательно три из них отпали [21*], осталась только четвертая возможность — признать, что эта соль является физиологически кислой, т. е. что аммиак быстрее потребляется растением, чем азотная кислота (вопреки утверждению ряда немецких авторов, что аммиачные удобрения являются медленно действующими по сравнению с селитрой). Освобождением азотной кислоты и объясняется то растворяющее влияние на фосфорит, какое оказывает введение NH_4NO_3 при проведении опытов в песчаных культурах.

Одно время у нас возникла мысль, не является ли эта физиологическая кислотпость NH_4NO_3 условной, т. е. зависящей от реакции среды,— тогда перевес поступления NH_3 над HNO_3 проявлялся бы лишь в слабощелочной среде (а таковая может создаваться благодаря содержанию трехкальциевого фосфата и углекислого кальция в фосфоритах), в кислой же среде поведение NH_4NO_3 было бы обратным; тогда NH_4NO_3 в качестве соли физиологически амфотерной служил бы для растений хорошим регулятором реакции среды.

Но опыт не подтвердил и этого предположения — физиологическая кислотность NH_4NO_3 упорно проявлялась и при кислой реакции среды (поскольку идет речь о степенях кислотности, переносимых растениями без явного вреда).

Это мы обнаружили еще при наших опытах 1901—1902 гг. по составлению новой питательной смеси; оказалось, что в песчаных культурах введение NH_4NO_3 вместе с $CaHPO_4$ и $Ca_3(PO_4)_2$ дает хорошие результаты, но при комбинации $NH_4NO_3+KH_2PO_4$ растения неизменно страдают от кислой реакции и дают гораздо меньшие урожаи, а особенно чувствительные к кислотности совершенно погибают. Следовательно, в этих условиях NH_4NO_3 не является для растения регулятором реакции среды, буферность проявляется только при комбинации NH_4NO_3 с основными фосфатами, т. е. нормальное растение вызывает в растворе NH_4NO_3 сдвиг только в кислую сторону.

[21*] Первое предположение — об участии нитрификации — отпало после проведения опытов в стерильной среде (у нас и в лаборатории П. С. Коссовича). Второе предположение было опровергнуто опытами И. С. Шулова с изоляцией источника фосфора от источника азота — оказалось, что только при непосредственном соприкосновении NH_4NO_3 с фосфоритом корни растений способны использовать последние, сами же по себе они это сделать не в состоянии. Точно так же опыт не подтвердил прямого растворяющего влияния NH_4NO_3 (при взбалтывании с раствором этой соли, без участия растения). См. подробности и фотографический снимок в IV отчете о вегетационных опытах за 1902 г. и в моей книге «Учение об удобрении», 1922, стр. 277.

Помимо наблюдений над реакцией среды и явлениями растворения фосфатов, перевес потребления NH_4OH над потреблением HNO_3 был констатирован И. С. Шуловым в 1912 г. путем прямого определения количеств, потребленных растениями NH_4 и NO_3 в стерильных условиях, причем перевес этот имел место в присутствии KH_2PO_4, т. е. в кислой среде.

Тогда, в 1917—1919 гг., мы стали испытывать более сильное подкисление, и первоначально могло казаться, что при этом удается достигнуть большего поглощения нитратов, чем аммиака. Вот пример из опытов того периода с этиолированными проростками ячменя.

Концентрация HCl (н.)		0	0,0001	0,0005	0,001	0,002
Поглощено N	NH_3	22,5	18,4	13,4	11,9	8,8
	HNO_3	19,3	18,9	15,6	15,1	10,9 *

* Подобные же данные были сообщены Д. А. Сабининым в его докладе на съезде ботаников в Ленинграде в 1921 г.

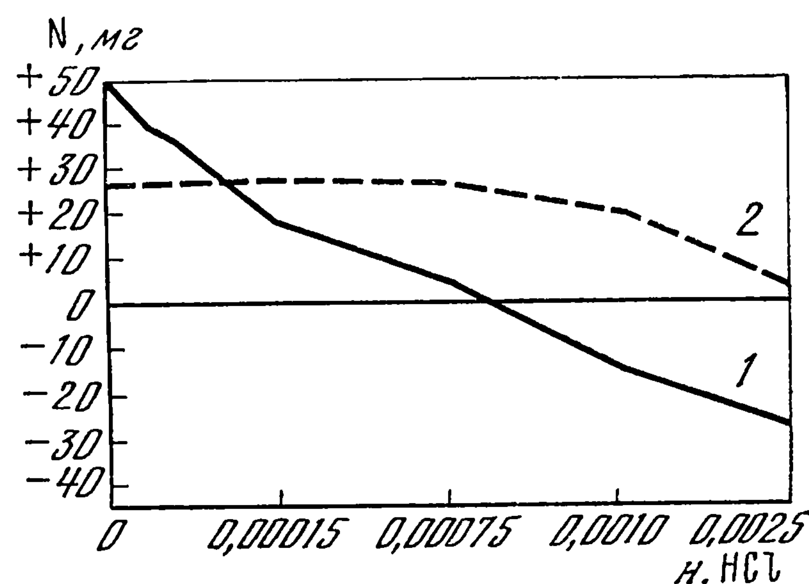
Внешне здесь может казаться, что произошел переход к физиологической щелочности NH_4NO_3, но так как это происходит при заведомо вредных степенях кислотности (между pH 4 и 3), то есть риск, что имеет место уже не физиологическая, а «патологическая щелочность». Эти патологические черты более четко выявились при опытах с проростками гороха (в 1919 г.), который более чувствителен к кислой реакции и имеет иное соотношение между белками и углеводами, чем у злаковых, и в этих опытах проявилось не только подавление поглощения аммиака при возрастающей кислотности, но и выделение аммиака корнями в окружающий раствор.

Результаты этих опытов изображены на рис. 14.

Здесь мы видим, что при концентрации кислоты 0,001 н. происходит одновременно поглощение нитратов и выделение аммиака в количествах одного и того же порядка. Последующие опыты показали, что здесь при подавлении процесса синтеза амидов имеет место восстановление нитратов с образованием аммиака, но тогда (в 1919 г.) работа в этом направлении не была проведена до конца — мы только пришли к заключению, что в пределах нормального роста растений NH_4NO_3 является всегда солью физиологически кислой; добиваясь же «амфотерности», мы попадаем в область патологических явлений.

В 1922 г. мы узнали о работе итальянского физиолога Пантанелли (Pantanelli) [22*] о поглощении ионов, в которой сообщалось, что проростки бобовых, развившиеся на свету, из раствора NH_4NO_3 поглощали больше кислоты, чем основания, что стоит в полном противоречии с нашими

[22*] Эта работа появилась еще в 1915 г. в журнале «Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik», но Академия им. К. А. Тимирязева не получала иностранных журналов не только во время войны 1914—1917 гг., но и 4 года по окончании ее, и только при моей командировке в Берлин в 1922 г. мне удалось установить в представительстве Наркомпроса наличие неиспользованных кредитов и спешно заняться пополнением восьмилетнего пробела в получении иностранных журналов в библиотеке ТСХА.



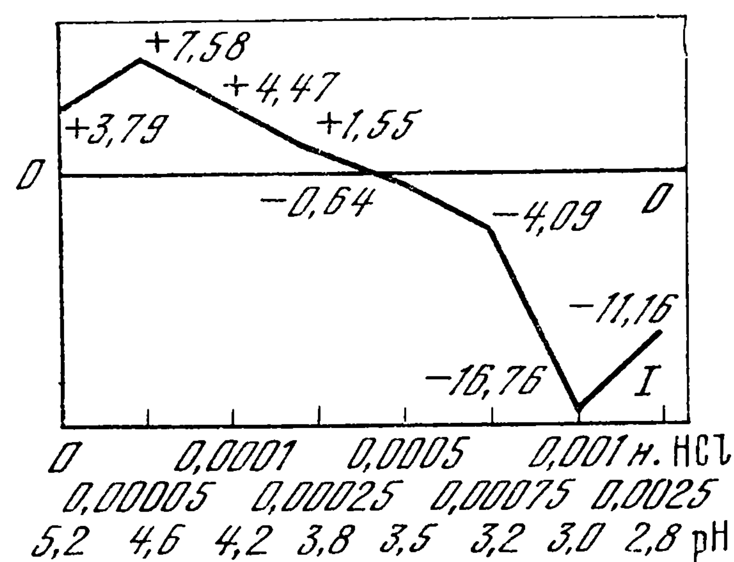


Рис. 14. Влияние концентрации кислоты на поглощение нитратного (*2*) и аммиачного (*1*) азота проростками гороха

Рис. 15. Влияние pH раствора $NH_4H_2PO_4$ на поглощение и выделение аммиака (*I*) проростками гороха

данными. Но, что еще более удивительно, то же самое проявилось в опытах с $(NH_4)_2SO_4$, например:

		1	2	3	4
Поглощено мг-ионов	катиона	0	0	0,18	0,35
	аниона	1,31	0,35	0,44	0,60

Явно было что-то ненормальное в поведении этих ростков; нулевое поглощение аммиака приводит к мысли о каком-то переходе к выделению аммиака; но выделение аммиака может иметь место при крайнем голодании проростков (Буткевич), а Пантанелли вел опыты на свету. Другой случай выделения аммиака наблюдали мы при действии кислот или солей аммиака с сильными кислотами, но опять-таки в опытах с этиолированными проростками. Как бы то ни было, данные Пантанелли производят впечатление, что его растения страдали от кислой реакции растворов при недостатке углеводов.

Пантанелли не описывает подробно условий опыта, но он производил опыты в декабре, в обстановке большого города (Рима), с ростками 30-дневного возраста. Если условия освещения были плохи, то, несмотря на световой габитус, растения могли истощить запас углеводов; кислую же реакцию растворов могли создать сами ростки. Наши опыты с чистыми растворами NH_4NO_3 показали, что (без введения буфера) ростки кукурузы снижают в течение 10 дней pH до 3,7. В итоге результаты Пантанелли дают повод думать, что, подобно нашему опыту с горохом в 1919 г., в них проявилась не физиологическая, а «патологическая щелочность» NH_4NO_3; а ознакомление с работами Варбурга с водорослями и Костычева с плесневыми грибами (см. выше, стр. 69) наводит на мысль о влиянии процесса редукции нитратов и образовании аммиака в тех случаях, когда синтетические процессы подавлены.

Для проверки наших догадок относительно причин своеобразного поведения ростков бобовых в опытах Пантанелли нам предстояло прове-

сти систематические опыты со злаковыми и бобовыми на свету и в темноте, при разной степени истощения ростков, при разных концентрациях NH_4NO_3 и при разной реакции среды.

К этому времени (начиная с 1922 г.) мы получили возможность располагать аппаратурой и реактивами для определения pH различными путями, ввели колориметрические методы определения малых количеств NH_3 и HNO_2, а это позволило вести учет поглощения за короткие сроки (2—4—6 часов) и избавило от необходимости прибегать к громоздкому и трудному методу стерильных культур, которым пользовался Шулов. Это дало возможность вместо одного опыта за лето повторять опыт с тем же самым растением даже не один раз в течение суток [23*].

И раньше мы прибегали к относительно краткосрочным (7—10 дней) опытам с проростками, но все же возможность влияния бактериальных процессов была в этом случае больше, чем при 2—6-часовых опытах.

Так как большинство наших опытов по физиологической характеристике NH_4NO_3 проводилось со злаками, а Пантанелли работал с бобовыми (при нашем единичном опыте с горохом в 1919 г. также проявлялись какие-то своеобразные особенности) [24*], то прежде всего нужно было ис-

---

[23*] Привезенные мной в 1922 г. из Берлина литературу, реактивы и приборы использовал прежде всего М. К. Домонтович, этот неустанный лабораторный работник, преждевременно нами утраченный. Он штудировал Михаэлиса, Кольтгофа и Серенесена, налаживал потенциометр и другие приборы и приучал молодежь к методической работе с ними; он же был самым аккуратным докладчиком по иностранной литературе на наших реферативных собраниях.

[24*] В том опыте с горохом в 1919 г., который напоминал по результатам опыты Пантанелли, были следующие особенности: а) одновременное присутствие в растворе NH_4 и NO_3; б) кислотность раствора, возрастающая от нуля до заведомо вредного содержания HCl (0,0025 н.); в) недостаточное освещение; г) значительная длительность опыта (2 недели). После нашего ознакомления с работой Пантанелли мы вернулись к расшифровке этого опыта. Чтобы расчленить действие сложного комплекса факторов, мы в дальнейшем шли такими путями: 1) исключали нитраты, давая только аммиачную соль; 2) исключали аммиак, давая только нитраты; 3) исключали и аммиак, и нитраты, испытывая влияние возрастающей кислотности на растение и наблюдая выделение аммиака за счет процессов дезаминирования и пр.; 4) меняли продолжительность опыта и возраст растений, что для этиолированных ростков означает разный запас углеводов в них.

Мы здесь коснемся только опытов по 1-му и 3-му разделам, так как остальные опыты — по 2-му и 4-му разделам — рассматриваются ниже в связи с анализом результатов опытов Пантанелли, в то время как данные по 1-му и 3-му разделам (продолжительность опыта до двух недель) несравнимы с краткосрочными, восьмичасовыми опытами Пантанелли.

Результаты предварительных опытов по влиянию кислотности среды на поглощение и выделение аммиака проростками гороха в отсутствие нитратов изображены на рис. 15, из которого видно, что в интервале между pH 5,2 и 3,8 растения поглощают аммиак, а при более кислой реакции (pH 3,5 и ниже) они его выделяют.

Но такая постановка является несовершенной в том отношении, что растения, выделяя аммиак, частично нейтрализуют раствор и конечное pH не отвечает исходному; поэтому та грань, при которой должно происходить отмирание корней, и не была уловлена. В дальнейшем мы перешли к ежедневной смене раствора для возможного удержания pH на исходном уровне; этот прием был применен, в частности, к опытам по влиянию кислотности при отсутствии как аммиака, так и нитратов. Тогда

пытать, не играет ли роль в опытах Пантанелли выбор объекта для опытов: нужно сравнить поведение бобовых и злаковых прежде всего в условиях нормального роста — на свету, но, как это было и у Пантанелли, при кратких сроках опытов.

Однако опыты, проведенные по нашему предложению Домонтовичем [25*] в 1923 г., показали, что ассимилирующие растения гороха и овса ведут себя совершенно одинаково — поглощение NH_4 существенно опережает поглощение NO_3, как это видно из следующих примеров.

Растение	Возраст растения (в днях)	Продолжительность опыта (в часах)	pH		Поглощено (в % от введенного количества) *	
			до опыта	после опыта	NH_3	HNO_3
Горох	20	2	5,4	4,8	7,7	0
	20	4	5,4	4,8	33,7	0
	30	3	6,4	5,5	61,5	19,3
Овес	22	2	5,8	4,8	27,9	5,0
	14	2	6,4	6,2	18,3	0

* Концентрация раствора NH_4NO_3 колебалась от 0,0002 до 0,001 н.

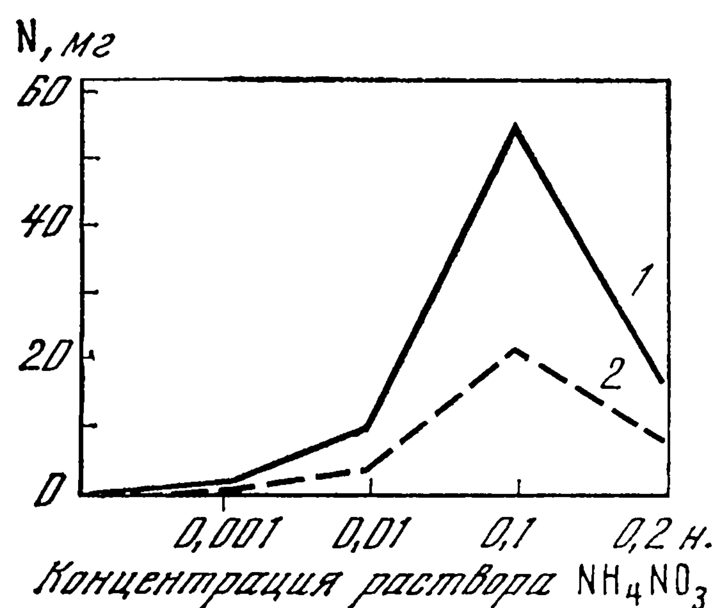
обнаружилось выделение аммиака и при таких ступенях pH, которые заведомо еще не смертельны для проростков гороха, как, например, pH 4,3; при большей же кислотности (pH ниже 4) выделение аммиака возрастало, но через несколько дней появились признаки отмирания корней, как это видно из следующих данных.

Выделение аммиака ростками гороха за сутки (в мг)	При концентрации кислоты (н.)				
	0,00001	0,00004	0,0001	0,00025	0,001
За 3-й день	—	0,442	0,610	0,862	0,444
» 4-й »	—	0,427	0,489	0,504	0,411
» 5-й »	—	0,580	0,768	1,436	+
» 6-й »	Следы	0,574	0,606	0,928	—
» 8-й »	»	0,402	0,738	+	—
» 11-й »	»	0,312	+	—	—
» 13-й »	»	+	—	—	—

Примечание. Знаком + отмечено начало отмирания корней.

Но, как сказано, эти опыты длительного порядка пригодны для сравнения с нашими опытами 1919 г. (см. рис. 14), но не с краткосрочными опытами Пантанелли, в которых слабое поглощение аммиака из раствора NH_4NO_3 объясняется образованием аммиака за счет редукции нитратов при подавленных процессах синтеза благодаря плохому освещению.

[25*] См. нашу статью «Аммиак, нитраты и нитриты как источник азота для высших растений» в XIII томе «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», 1926.



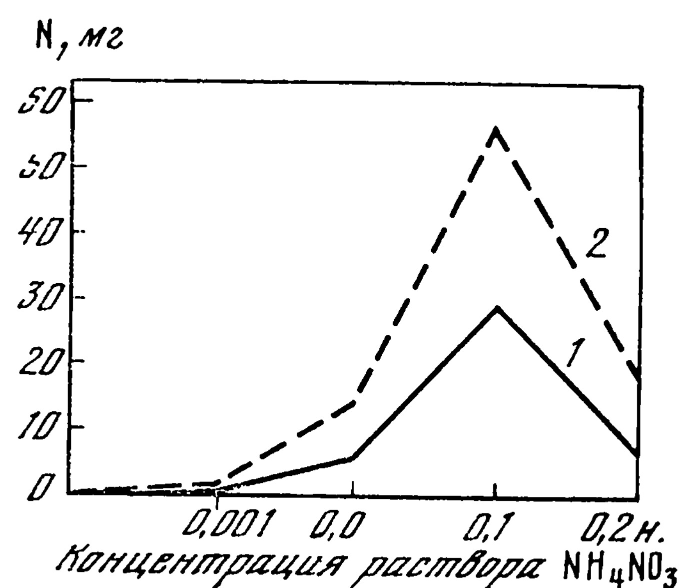


Рис. 16. Поглощение аммиачного (*1*) и нитратного азота (*2*) из раствора NH_4NO_3 этиолированными ростками гороха пятидневного возраста

Рис. 17. Поглощение аммиачного (*1*) и нитратного (*2*) азота из раствора NH_4NO_3 этиолированными ростками гороха 15-дневного возраста

Отсюда видно, что развитые растения овса и гороха в условиях водных культур способны за 2 часа заметно снизить pH раствора NH_4NO_3 благодаря жадному поглощению аммиака при замедленном поступлении HNO_3.

Оставалось искать другие причины своеобразных данных Пантанелли. Так как его опыты велись с 30-дневными ростками, которые при декабрьском освещении (а декабрь бывает облачным даже в Италии) могли страдать от недостатка углеводов, то мы поставили несколько серий опытов со злаками и бобовыми по влиянию запаса углеводов на отношение растений к NH_4NO_3, причем испытывалось и влияние концентрации раствора NH_4NO_3, так как Пантанелли применял более высокие концентрации, чем мы в наших прежних опытах.

Для этого в нескольких сериях опытов (В. С. Ивановой, с 1926 г.) испытывалось отношение к NH_4NO_3 этиолированных проростков разного возраста, а следовательно, разной степени истощения углеводами. И вот тут-то и обнаружилось, что «явление Пантанелли» можно наблюдать только на ростках, обедненных углеводами. Этиолированные проростки гороха 5-дневного возраста ведут себя так же, как ассимилирующие растения, а в 15-дневном возрасте они ведут себя противоположным образом — анализ растворов показывает более сильное поглощение HNO_3, чем NH_3, как это было и в опытах Пантанелли. Чтобы не приводить значительных рядов цифр, дадим лишь графическое изображение результатов для 5-дневных ростков гороха (рис. 16) и 15-дневных (рис. 17).

Чем же можно было объяснить, что только истощенные ростки обнаруживают перевес поглощения HNO_3 над поглощением NH_3? Ведь казалось бы, что здесь есть внутреннее противоречие, так как растение, бедное углеводами, должно бы предпочитать аммиак, а не нитраты, на восстановление которых до аммиака нужно еще затратить добавочное коли-

чество энергии. Однако факты говорят, что недостаток углеводов раньше подавляет синтез амидов, чем редукцию нитратов. Достаточно напомнить ранее цитированную работу Варбурга с водорослями (1920), в которой было показано образование аммиака за счет нитратов при подавленной ассимиляции («чистая редукция, никакой ассимиляции»), работу Костычева с плесневыми грибами, обнаружившую, что при пониженном питании сахаром редукция нитратов до аммиака идет, а аммиак не успевает потребляться в процессе синтеза органического вещества. С высшими растениями у нас аналогичные явления наблюдал Дикусар (1924), в опытах которого этиолированные проростки образовали аммиак за счет нитритов, тогда как синтез амидов уже был подавлен недостатком углеводов.

Результаты всех последующих опытов вполне согласовались с этим нашим объяснением явлений, наблюдавшихся Пантанелли. Когда мы провели сравнительные опыты с тремя растениями, обладающими различным запасом углеводов в семенах (овес, горох, люпин), то оказалось, что, чем у́же отношение между белками и углеводами, тем скорее проростки переходят от нормального использования NH_4NO_3 с преобладающим поглощением аммиака к обратному, анормальному типу [26*].

Тогда мы обратили внимание на такой объект, как сахарная свекла, мелкие семена которой имеют ограниченный запас углеводов, который должен быть сильно истощен при образовании всходов, в противоположность картофелю, имеющему громадный запас крахмала в посадочном материале; это давало повод думать, что разное отношение свеклы и картофеля к удобрению $NaNO_3$ и $(NH_4)_2SO_4$ стоит в связи не только с различным положением оптимума по отношению к реакции среды, но и с различной способностью использовать аммиак в молодом возрасте.

При опытах с проростками свеклы мы, кроме изучения влияния концентрации и возраста ростков, воспользовались этим чувствительным объектом еще и для уточнения наших прежних наблюдений относительно влияния реакции среды на синтез амидов в растениях. Впоследствии поводом для углубления этих исследований послужило отчасти выступление Мевиуса [27*], который усомнился в верности нашего утверждения о подавлении синтеза амидов при кислой реакции и полагал, что в наших прежних опытах применялись слишком сильные концентрации кислоты, которые были для растений смертельными [28*]. Хотя это было не так и хотя к этому времени работы Рулянда и Ветцеля по сравнительной физиологии растений с разной кислотностью клеточного сока привели этих авторов к тому же выводу, к какому мы пришли на основании наших прежних опытов, все же мы решили еще раз испытать влияние подкисле-

26* См. нашу статью в XIV томе «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ».

27* Die Wirkung der Ammoniaksalze in ihrer Abhäng'gkeit von der Wasserstoffionen Konzentration.— Planta, 1928, 1929.

28* На деле в наших опытах 1912—1914 гг. применялись вовсе не «смертельные концентрации кислот» как таковые, а изучалось влияние физиологической кислотности таких солей, как NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$.

ния раствора на ход потребления аммиака в процессе синтеза амидов, ограничиваясь на этот раз только слабыми степенями кислотности.

Опыты 1927—1928 гг. обнаружили, что, действительно, у свеклы «явление Пантанелли» наступает гораздо раньше, чем у гороха (не говоря уже об овсе). Мало того, здесь мы впервые наблюдали переход от поглощения аммиака к его выделению, которое при кислой реакции (рН 5,2) наступает скорее (т. е. при меньшем истощении ростков или при меньшей концентрации NH_4NO_3), чем при нейтральной реакции. Вот пример для ростков 9-дневного возраста:

Концентрация раствора NH_4NO_3 (н.)		0,01	0,025	0,05	0,075	0,100
				При pH 7		
Поглощено азота (в мг)	NH_4	11,2	48,8	51,5	16,6	11,9
	NO_3	6,9	38,9	69,2	36,1	21,0
				При pH 5,2		
	NH_4	1,6	0,3	−2,1	−1,3	−1,9
	NO_3	3,1	8,7	9,9	18,0	15,1

Как видно, при нейтральной реакции и при слабых концентрациях мы имеем преобладание поглощения аммиака $\left(\frac{N_{амм}}{N_{нитр}}>1\right)$ и только при переходе к концентрации 0,05 н. и выше берет верх поглощение азотной кислоты.

При реакции же слабокислой, даже в интервале малых концентраций, поглощение аммиака (или, вернее, разность между поглощением и новообразованием) уступает поглощению азотной кислоты (или убыли ее вследствие редукции). Переход же к большим концентрациям приводит в этом случае к выделению аммиака в окружающую среду.

Это явление может наступить и при нейтральной реакции, если взять ростки более истощенные или перейти к еще большим концентрациям NH_4NO_3. Такой случай для 15-дневных ростков изображен на рис. 18, где видно, как под влиянием возрастающей концентрации сначала аммиачная кривая пересекается с нитратной: переход от $\left(\frac{N_{амм}}{N_{нитр}}>1 \text{ к } \frac{N_{амм}}{N_{нитр}}<1\right)$, а затем происходит выделение не использованного растениями аммиака в раствор, окружающий корни.

В сущности рис. 18 может служить общей схемой для любого из изучавшихся факторов, так как не только концентрация раствора, но и реакция среды и истощение запаса питательных веществ с возрастом ростков — все действует в одном и том же направлении, вызывая сначала изменение отношения $N_{амм} > N_{нитр}$ на обратное $N_{амм} < N_{нитр}$, а затем и переход к отрицательному значению $N_{амм}$, т. е. к выделению аммиака. Так, влияние возраста ростков свекловицы на отношение $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}}$

сказывается изменениями совершенно того же типа, как это мы видели выше, наблюдая влияние концентраций (см. ниже).

Возраст ростков (в днях)		5	7	9	11	13
				При pH 7		
Поглощено азота (в мг) *	N амм	36,7	36,7	48,8	2,9	3,1
	N нитр	10,5	21,5	38,9	11,3	11,1
				При pH 5,2		
	N амм	12,4	3,4	–	1,3	−2,0
	N нитр	47,2	22,6	–	23,5	+8,7

* Взяты данные только для концентрации 0,025 н.

Мы видим, что с возрастом происходит постепенно уменьшение отношения $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}}$, причем переход к $N_{амм} < N_{нитр}$ имеет место между 11-м и 13-м днем, если pH 7, но при слабокислой реакции этот переход имел место раньше, еще в первые дни, не охваченные опытом, а между 11-м и 13-м днями последовал уже переход к выделению аммиака наружу.

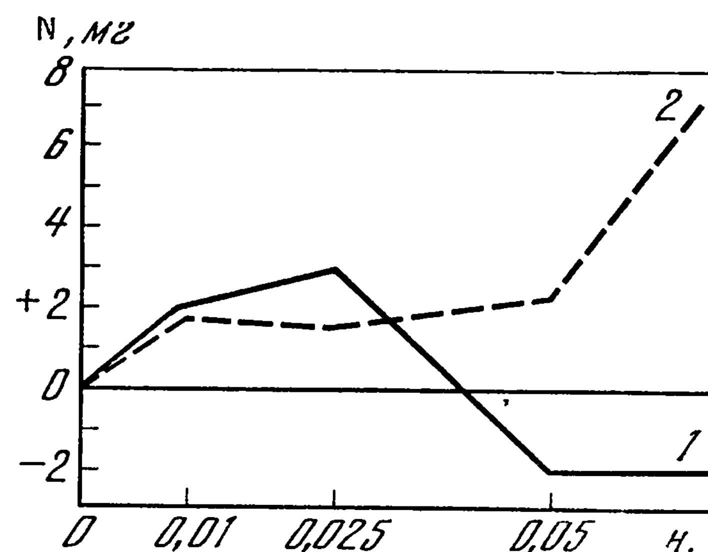


Рис. 18. Влияние концентрации раствора NH_4NO_3 на поглощение аммиачного (*1*) и нитратного (*2*) азота 15-дневными этиолированными ростками сахарной свеклы при pH 7

Выделение аммиака проростками, которое наблюдалось в этих опытах, не является еще следствием конечного истощения проростков углеводами, как это было в опытах Буткевича с голодающими проростками люпина, так как в контрольном опыте с погружением корней в чистую воду выделения аммиака еще не было; следовательно, аммиак был продуктом восстановления нитратов, а не продуктом дезамидирования и дезаминирования, как это бывает при совершенном истощении проростков.

Описанные выше опыты позволили нам настолько овладеть «явлением Пантанелли», что мы могли уже заранее предвидеть результаты еще не испытанных комбинаций. Так, когда мы перешли к изучению динамики процесса, то естественно было предположить, что продолжительность опыта (время погружения ростков в раствор NH_4NO_3) должна иметь такое же влияние на переход от нормального отношения $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}} > 1$ к обратному $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}} < 1$, как и увеличение концентрации раствора, т. е. если мы, например, в двухчасовом опыте наблюдали при данных условиях, что названное отношение уже меньше единицы, то это не значит, что названное отношение устанавливается с первых же минут после погружения ростков в раствор; скорее нужно думать, что первые порции аммиака

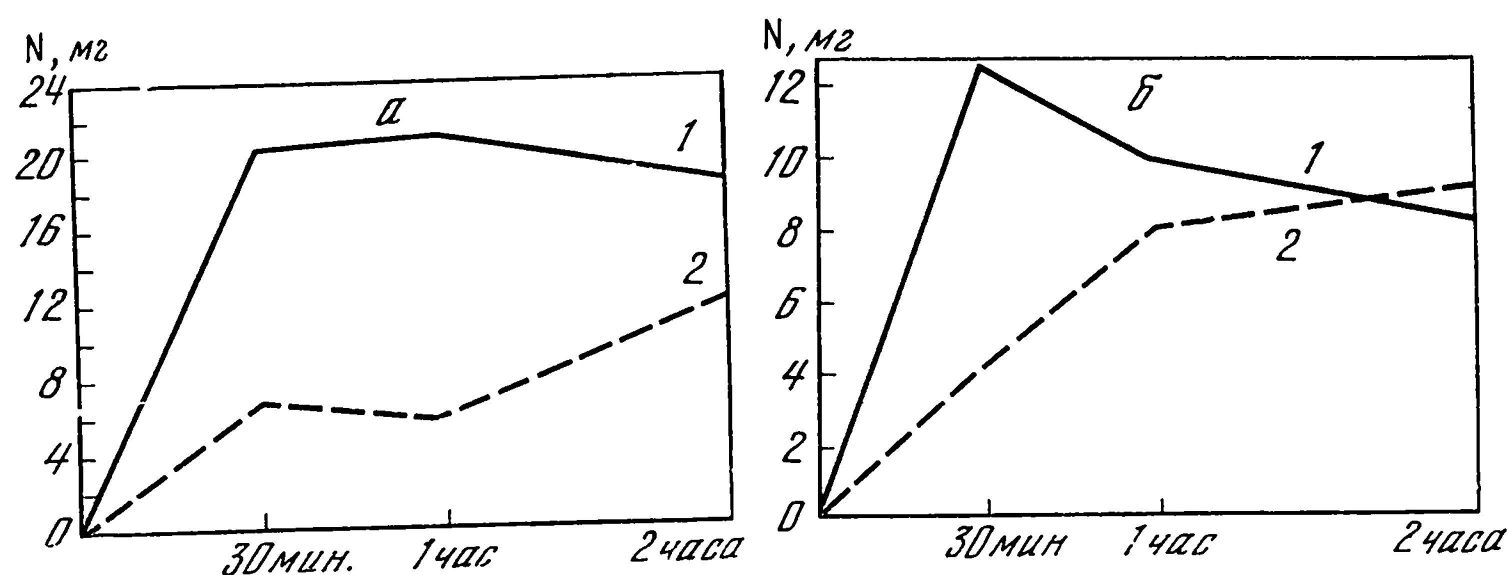


Рис. 19. Влияние продолжительности опыта на поглощение аммиачного (*1*) и нитратного (*2*) азота этиолированными ростками гороха 15- (*а*) и 17-дневного (*б*) возраста при pH 7

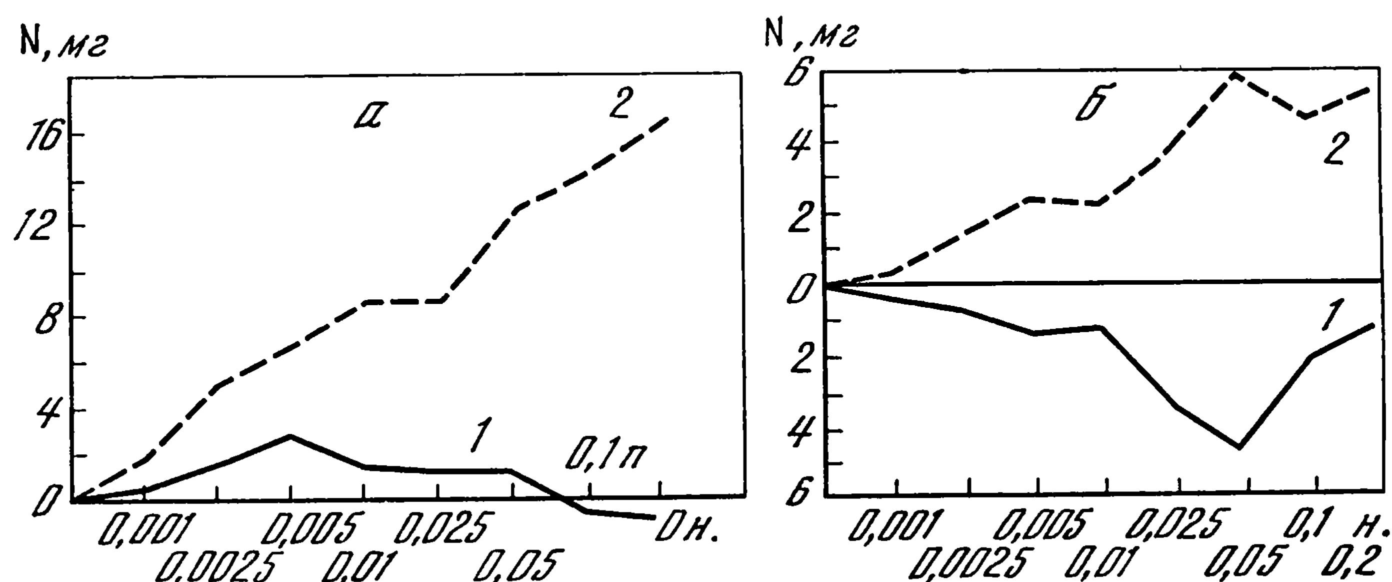


Рис. 20. Влияние концентрации раствора NH_4NO_3 на поглощение аммиачного (*1*) и нитратного азота (*2*) этиолированными ростками гороха 19- (*а*) и 21-дневного (*б*) возраста при pH 5,2

(прямо данного или полученного от редукции HNO_3— все равно) будут все же потребляться на образование амидов, а только последующие порции станут накопляться в растении, данный в растворе аммиак перестанет поступать, а образованный за счет HNO_3 будет выделяться наружу. Опыт вполне подтвердил эти ожидания. Вот данные, полученные с этиолированными проростками гороха 15-дневного возраста (рис. 19, *а*).

Если бы мы не знали механизма описываемого явления, то трудно было бы понять, почему через 2 часа поглощено меньше аммиака, чем через 1 час, в то время как количество потребленных нитратов правильно возрастает, но раз дело идет о продукции аммиака за счет нитратов, то понятно, что одно явление перекрывает другое. Если здесь отношение $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}}$ только уменьшается, а еще не переходит в обратное, то ясно, что если бы продолжить опыт, то мы наблюдали бы пересечение кривых и переход к отношению $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}} < 1$. Но то же пересечение кривых на-

блюдается в пределах двухчасового опыта, если взять ростки гороха всего лишь на 2 дня старше, т. е. 17-дневного возраста (рис. 19, *б*).

Так как эта серия опытов с горохом проведена была при значительном варьировании концентрации (8 ступеней, от 0,001 до 0,2 н.), возраста растений (5 сроков уборки) и при двух ступенях рН (5 и 7), то она дала обильный материал для более четкой демонстрации законностей, подмеченных при прежних опытах. Здесь приведены только некоторые рельефные примеры. На рис. 20 видно влияние концентрации раствора NH_4NO_3 на поведение значительно истощенных ростков гороха (19—21-й день); 19-дневные ростки обнаруживают явление Пантанелли при всех концентрациях, но при наибольшей концентрации (0,2 н.) замечается уже выделение аммиака в окружающий корни раствор. Эта комбинация влияния концентрации и возраста не была охвачена опытами Пантанелли. В следующей стадии (ростки 21-дневного возраста) наблюдается уже выделение аммиака при всех концентрациях раствора, причем кривая выделения аммиака представляет почти зеркальное изображение кривой поглощения нитратов («reine Reduktion ohne Assimilation»)—[чистая редукция, никакой ассимиляции], как у Варбурга в опытах с водорослями. На рис. 21 изображено влияние возраста ростков или степени истощения на их отношение к NH_4NO_3, причем при рН 5,2 перекрест аммиачной и нитратной кривых (явление Пантанелли) наступает перед 15-м днем, а к 20-дневному возрасту наступает уже перекрест аммиачной кривой с осью абсцисс (выделение аммиака). При нейтральной же реакции перекрест аммиачной и нитратной кривых наступает только в 20-дневном возрасте; но к 21-му дню аммиачная кривая все-таки уже приближается к оси абсцисс.

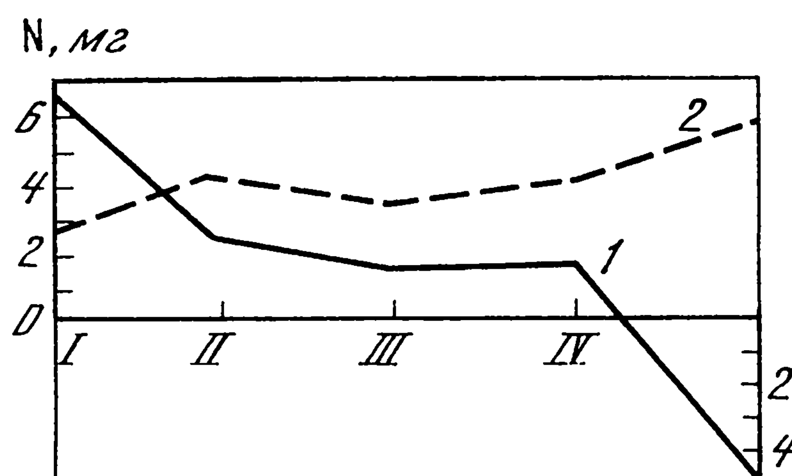


Рис. 21. Влияние возраста этиолированных ростков гороха на поглощение аммиачного (*1*) и нитратного (*2*) азота из раствора NH_4NO_3 при рН 5,2

Возраст проростков: *I* — 12-дневные; *II* — 15-дневные; *III* — 17-дневные; *IV* — 19-дневные; *V* — 21-дневные

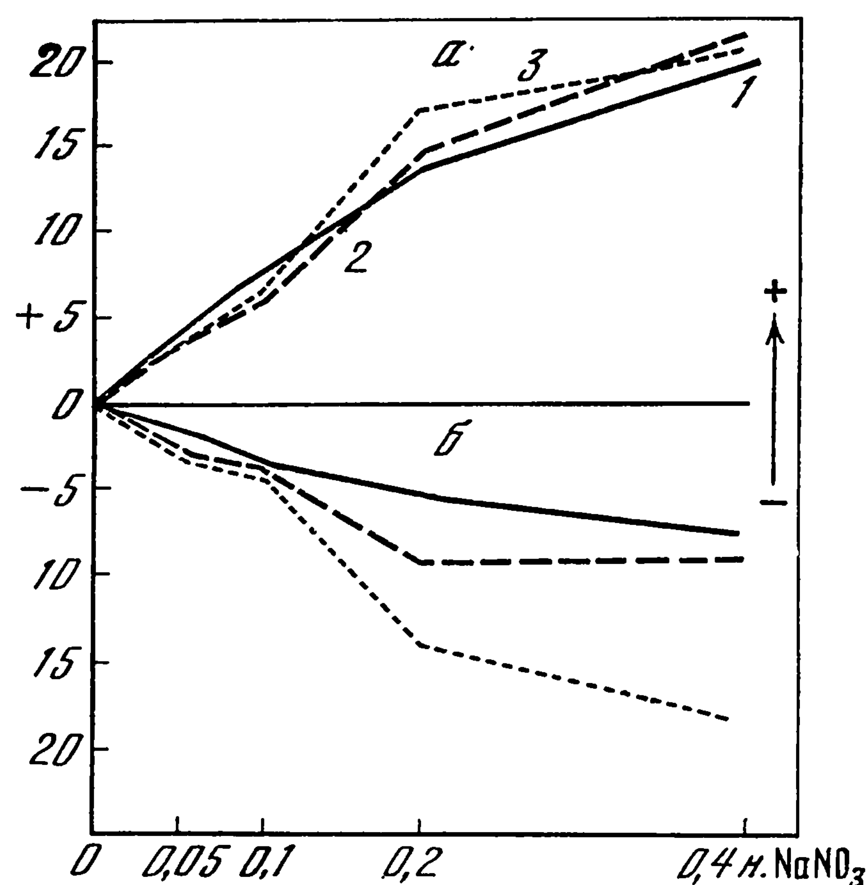


Рис. 22. Поглощение нитратного (*а*) и выделение аммиачного (*б*) азота проростками люпина (при питании $NaNO_3$) в зависимости от рН и концентрации $NaNO_3$

1 — рН 4,6; *2* — рН 5,91; *3* — рН 8,0

Таким образом, наше предположение об участии процессов редукции в явлениях, наблюдавшихся Пантанелли, бывшее сначала лишь рабочей гипотезой, постепенно нашло полное подтверждение и позволило объяснить все детали, явившиеся следствием сложной игры факторов (возраст растения, реакция среды, концентрация раствора, время погружения в раствор). Но все же для окончательной четкости решения не хватало одного experimentum crucis, каковым должна была быть обнаружена редукция при питании одними нитратами, без введения аммиака. В осуществление нашей мысли В. С. Ивановой было проведено в период 1928—1931 гг. значительное число опытов с проростками, находящимися в той стадии истощения, когда легко наступают явления, описанные Пантанелли, но с введением в раствор только $NaNO_3$. Было изучено влияние концентрации NO_3 в растворе при разных степенях pH и при разном возрасте ростков, т. е. при разном запасе углеводов в них. Опыты эти вполне подтвердили наши ожидания: наблюдалось поглощение NO_3 и выделение NH_3 тем более энергичное, чем больше дано селитры. Конечно, накопление аммиака в тканях происходит быстрее, если дается, например, 0,1 н. раствор NH_4NO_3, чем при таком же растворе $NaNO_3$; однако результаты получаются настолько четкие, что не оставляют никаких сомнений в верности нашего объяснения. Из многих опытов с ростками разных растений разного возраста, при разной концентрации раствора и различных pH мы приведем только следующий пример для проростков гороха 19-дневного возраста.

Ростки гороха (12-часовой опыт)

Концентрация $NaNO_3$ (н.)		0	0,05	0,10	0,20	0,40
		в мг				
Исходный						
pH 4	Поглощено N–NO_3	0	12,1	22,6	18,2	21,3
	Выделено N–NH_4	0	6,4	14,5	14,8	13,1
pH 5,9	Поглощено N–NO_3	0	18,4	19,4	22,1	30,5
	Выделено N–NH_4	0	2,3	6,8	9,7	10,2
pH 8,4	Поглощено N–NO_3	0	19,7	20,1	24,6	19,1
	Выделено N–NH_4	0	9,2	13,5	19,4	16,2

Здесь видно, что во всех случаях выделение аммиака растет вместе с концентрацией раствора $NaNO_3$, но при pH 5,9 выделение аммиака менее энергично, так как эта реакция более благоприятна для гороха, чем pH 4 и 8,4, и нарушение процессов синтеза при ней менее выражено. Особенно энергичное выделение имело место при pH 8,4; здесь кривая выделения аммиака наиболее приближается к зеркальному изображению

кривой поглощения нитратов, т. е. к случаю, наблюдавшемуся Варбургом в его опытах с водорослями («чистая редукция, без ассимиляции»).

Для аналогичного опыта с люпином приведем только графическое изображение (рис. 22), смысл которого понятен из вышесказанного.

Таким образом, процесс восстановления нитратов оказывается очень устойчивым, растение упорно сохраняет способность к редукции нитратов тогда, когда синтетические процессы уже сильно ослаблены и незнание этого факта может привести к неверным выводам относительно поглощения аммиака и нитратов проростками, что и случилось с Пантанелли.

Вообще необходимо считаться с тем, что при помещении растений в темноту нарушение синтетических процессов происходит в известном порядке, начиная от высших ступеней лестницы к низшим [29*].

Первым прекращается синтез белковых веществ, но синтез аминоамидов, как аспарагин и глютамин, продолжается очень долго еще и в темноте и еще дольше сохраняется способность к редукции нитратов до аммиака, которая имеет место даже и тогда, когда синтез амидов уже не идет, но ранее образовавшиеся амиды еще устойчивы, и, наконец, как предсмертное явление происходит «распускание кружева» — распад ранее образовавшихся соединений с образованием аммиака.

Таков ход превращения, если извне растения не получают азота. Если же в растение поступают нитраты или нитриты, то в первых стадиях прорастания обычно за восстановлением нитратов до аммиака быстро следует образование амидов и аминокислот и аммиак не накопляется. Но если при недостатке углеводов синтез амидов подавлен, то у высших растений наблюдается та же картина, какую Костычев наблюдал у грибов, а Варбург — у водорослей: восстановление нитратов идет, а аммиак, не потребленный в процессах синтеза, выделяется корнями в окружающий раствор. Этот процесс восстановления нитратов не прекращается даже тогда, когда, казалось бы, растению не хватает углеводов для более насущных потребностей; он продолжается с большим упорством до последних стадий истощения растения. На известных ступенях этого исто-

[29*] При опытах с повышенными концентрациями $NaNO_3$ нам приходилось устранять предположение, что высокая концентрация солей как таковая за известным пределом может стать причиной выделения растениями аммиака вследствие распада азотистых веществ, вне всякой зависимости от присутствия нитратов в окружающем растворе. Известно, что в начальных стадиях увядания получается такое усиление окислительных процессов, что и присутствие углеводов не спасает от глубокого распада белков с образованием аспарагина и затем аммиака. Можно было опасаться, что повышенное осмотическое давление раствора может вызвать подобные же явления в клетках ткани. Поэтому мы ставили контрольные опыты с растворами NaCl при значительной концентрации (например, 0,2—0,4 н.). Однако при тех возрастах растений и тех сроках, с которыми мы имели дело в работе по редукции нитратов, эти явления не имели места, как это видно из контрольных опытов с NaCl (подробности см. в названной работе В. С. Ивановой). Но если взять ростки 25—27-дневного возраста или значительно увеличить срок опыта, то можно, действительно, наблюдать начало выделения NH_3 уже не за счет редукции нитратов, а за счет глубокого внутреннего распада азотистых веществ в тканях проростков.

щения можно наблюдать почти полное совпадение между количествами поглощенных нитратов и образованием аммиака, пока истощение не дойдет до таких пределов, что наступают процессы дезаминирования и дезамидирования и растение погибает от аммиачного отравления. Эта последовательность явлений может быть представлена в виде следующей схемы, иллюстрирующей влияние запаса углеводов на процессы превращения азотистых веществ в растениях.

<table>
<tr><td>Синтез белков</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Синтез амидов</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Потребление NH_4</td><td>Выделение NH_3</td><td>Отравление NH_3</td></tr>
<tr><td colspan="3">Поглощение NO_3 и восстановление NO_3 до NH_3</td><td>и смерть растения</td></tr>
<tr><td>I</td><td>II</td><td>III</td><td>IV</td></tr>
</table>

I–IV убывающее количество углеводов

Те опыты, результаты которых мы выше описывали, проводились с ростками, находившимися или во II стадии истощения запаса углеводов (и тогда выделения аммиака совсем не было), или в III стадии — в этом случае выделение аммиака наблюдалось, но в пределах, не превышающих количества редуцировавших нитратов, при переходе же к IV стадии начинается выделение аммиака, значительно превышающее поглощение нитратов; это уже предсмертное явление, с распадом аминокислот и амидов.

Эти явления можно наблюдать, например, на ростках гороха, выдержанных в темноте в течение 21 дня, если взять раствор NH_4NO_3 достаточной концентрации; вот примеры из опытов В. С. Ивановой:

Возраст ростков (в днях)...		12	15	17	19	21
		При концентрации 0,1 н. NH_4NO_3				
Поглощено азота (в мг)	N–NH_4	39,0	34,3	3,3	–0,4	–48,5
	N–NO_3	33,1	37,6	11,9	14,8	8,1
		При концентрации 0,2 н. NH_4NO_3				
	N–NH_4	27,9	10,1	3,3	–0,6	–33,9
	N–NO_3	23,1	11,3	11,8	16,0	3,2

Здесь 12-дневные ростки ведут себя нормально; в 15- и 17-дневном возрасте наступают явления, наблюдавшиеся Пантанелли; в 19-дневном

возрасте начинается уже выделение аммиака, хотя в пределах, далеко отстоящих от размеров поглощения нитратов; и вдруг в 21-дневном возрасте теряется всякая устойчивость и истощенные ростки «истекают аммиаком» как продуктом глубокого распада азотистых составных частей растений. Это и отвечает IV стадии по приведенной схеме.

О влиянии возраста ассимилирующих растений на скорость поглощения NH_4 и NO_3 из раствора азотнокислого аммония

В работах некоторых американских авторов (Naftel, 1931; Stahl, Shive, 1935) приведены были данные, говорящие, что в то время как в первых стадиях развития растения поглощают преимущественно аммиак, в более поздних стадиях наступает переход к обратному соотношению и нитратный азот поглощается быстрее аммиачного. Помимо общефизиологического интереса этот вопрос имеет прямое практическое значение, так как если бы такое положение подтвердилось, то при подкормках в более поздние сроки это было бы доводом для замены аммиачного азота на нитратный.

Вот графическое изображение результатов опытов Сталя и Шайва с овсом (рис. 23).

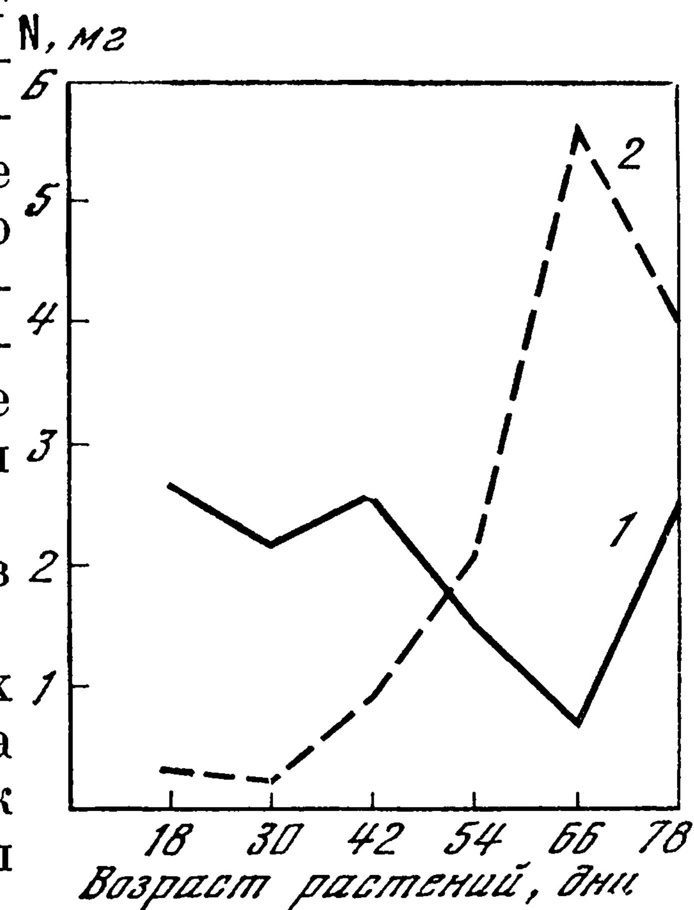


Рис. 23. Влияние возраста ассимилирующих растений овса на поглощение аммиачного (*1*) и нитратного (*2*) азота из раствора NH_4NO_3 (опыт Сталя и Шайва)

Нам с самого начала вывод американских авторов казался маловероятным потому, что на примере сахарной свеклы мы наблюдали как раз обратное: в то время как у всходов свеклы легко вызывается «аммиачное отравление», растения с развитой ассимилирующей поверхностью благодаря хорошему снабжению углеводами прекрасно справляются с аммиаком (опыты Ивановой, Дикусара и других в нашей лаборатории)[30*].

Если не наблюдали изменения с возрастом в смысле перехода от $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}} > 1$ к отношению

[30*] Правда, однажды и у нас наблюдался случай перехода от перевеса поглощения NH_4 над NO_3 к обратному соотношению, а именно в опытах И. С. Шулова с кукурузой (стерильные культуры, 1912 г.); однако этот опыт несравним с опытами американских авторов, так как и у И. С. Шулова питательный раствор не обновлялся и потому, если растения в первую половину жизни поглотили больше NH_3, чем NO_3, то ко второй половине опыта они имели дело уже не с NH_4NO_3, а с суммой NH_4NO_3+ $+HNO_3$ (или вообще RNO_3); кроме того, изменился состав и остальной части питательной смеси, что также не было учтено. Чтобы определить отношение кукурузы разных возрастов к NH_4NO_3 (притом с сохранением соотношения других катионов

$\frac{N_{амм}}{N_{нитр}} < 1$, то это у этиолированных ростков, у которых еще хватало углеводов на редукцию NO_3 в NH_3, но синтез амидов уже не шел; тогда эта редукция без потребления NH_3 в процессе синтеза создавала видимость якобы лучшего поглощения NO_3, чем NH_3. Но как понять такой переход в опытах Сталя и Шайва с ассимилирующими растениями (овес и гречиха), которые будто бы до цветения предпочитают аммиак, а после цветения — нитраты?

Присматриваясь ближе к постановке опытов американских авторов [31*], мы обратили внимание на невероятно высокую дозировку азота в их опытах: они давали в текучих культурах 240 мг азота на литр раствора, в то время как Гельригель при бессменных растворах давал втрое меньшее количество. И если в опытах Сталя и Шайва раствор обменивался на новый каждые сутки, то это означает, что они давали растениям за 80—90 дней опыта в 240—270 раз больше азота, чем им требуется для завершения всего цикла развития по Гельригелю! Такие дозы растения могли вынести только потому, что большая часть азота проходила мимо корней, но все же, как будет видно ниже, имела место депрессия роста из-за избыточной концентрации NH_4NO_3.

Тогда у нас явилось подозрение, что при таком невероятном перекорме растений азотом в виде NH_4NO_3, кроме прямого поступления аммиака из этой соли, имело место еще образование аммиака за счет редукции NO_3; а если благодаря избытку аммиак не мог быть весь потреблен в процессах синтеза, то и должна получиться видимость лучшего поглощения нитратов, чем аммиака. А что этот процесс должен сильнее сказаться именно после цветения, чем до него, вытекает просто из того

и анионов), необходимо вести опыт со сменными растворами или с текучими культурами. Именно такая постановка опыта имела место в работе Шмида (K. Schmied. Ueber die Geschwindigkeit der Stickstoffaufnahme aus Ammon- und Nitratsalzen. Inaugural Diss., Hohenheim, 1930), который выращивал кукурузу в питательной смеси Кнопа и в определенном возрасте давал растениям на известный срок только раствор NH_4NO_3, а затем определял ход поглощения NH_4 и NO_3. При этом Шмид констатировал, что как у молодых растений (20-дневного возраста), так и позднее, в стадии цветения, всегда аммиак поглощался быстрее, чем NO_3. Вот пример из этих опытов для растений 74-дневного возраста.

Начальная концентрация (в мг N на 1 л)	Осталось через					
	1 час	2 часа	3 часа	4 часа	6 час.	18 час.
Азот аммиака 2	0,8	0,2	0	0	0	0
» нитратный . . . 2	1,4	1,2	0,7	0,5	0.05	0

[31*] Stahl, Schive. Studies on Nitrogen Absorption from Culture Solution.– Soil Science, XXXV, 375, 1935.

факта, что к этому времени растения, уже построившие главную массу своих органов, дальше снижают свою потребность в азоте и наступает период преобладания перемещения азотистых веществ (из листьев к завязям) над их поступлением извне. Таким образом, влияние возраста здесь должно быть косвенным, дело вовсе не в изменении отношения растения к NH_4 и NO_3, а в снижении общей потребности в азоте.

При этих рассуждениях мы исходили не только из данных наших опытов с этиолированными проростками, в которых была доказана возможность пониженного потребления и даже выделения аммиака корнями проростков при избыточном питании их нитратами, но имели еще в виду опыты Клейна и Киссера, которые наблюдали выделение аммиака и у ассимилирующих растений, если нитратное питание являлось слишком обильным. Поэтому мы и решили при повторении опытов Сталя и Шайва применить различные концентрации NH_4NO_3, а также произвести проверку на выделение аммиака при повышенных концентрациях как этой соли, так и при замене ее $NaNO_3$.

Опыты, проведенные по нашему плану В. С. Ивановой, вполне подтвердили наши предположения о зависимости наблюдавшихся американскими авторами явлений от избыточной концентрации примененных ими растворов (240 мг азота на литр). Вот пример влияния концентрации NH_4NO_3 на поведение овса (в текучих растворах) в 50-дневном возрасте:

Концентрация NH_4NO_3 (в мг/л)		24,0	48,0	240,0	360,0	480,0
Поглощено (в мг N)	NH_4	5,3	8,3	11,6	−19,1	−10,3
	NO_3	2,2	4,3	17,9	+21,2	+17,9
Сухой вес растений в конце опыта (в г)		26,4	41,0	28,6	20,2	15,3

Отсюда видно, что именно концентрация раствора является фактором, вызывающим аномальное отношение растения к NH_4 и NO_3; при снижении концентрации в 5 раз развитие растений улучшается и аммиачный азот поглощается сильнее нитратного. Если при 240 мг N имеют место те же явления, что у Сталя и Шайва, то при 360 и 480 мг наблюдается нечто новое, чего американские авторы не наблюдали,— выделение аммиака в раствор, окружающий корни (цифры обозначают поглощение или выделение в мг N за сутки на один сосуд).

Таким образом, на ассимилирующих растениях мы наблюдаем те же явления, как и на этиолированных, но только при гораздо большем притоке азотистой пищи: при крайнем ее избытке отношение $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}}$ становится, при известном возрасте растения, меньше единицы; при дальнейшем повышении концентрации наблюдается выделение аммиака во внешнюю среду.

Стоит только избежать того крайнего избытка азота, который имел место в опытах Сталя и Шайва, и явления, описанные ими, исчезают

совсем. Так, если ограничиться введением 24—48 мг на литр раствора (вместо 240), то во все стадии развития аммиак поглощается быстрее, чем NO_3, как это видно из следующего примера:

		40	60	80	90
возраст растения (в днях)					
поглощено N за 24 часа (в мг)	аммиачного	11,4	12,1	7,9	9,1
	нитратного	9,9	6,3	4,1	4,8

При повторении опыта с той концентрацией, с которой работали Сталь и Шайв (240 мг), мы получили такой же ход кривых поглощения, какой наблюдался у них; также получаются «ножницы», т. е. перекрест линий поглощения NH_4 и NO_3 где-то около стадии цветения. Но далее обнаружилось характерное дополнение: если не спешить убрать растения при созревании зерен в метелках овса первого урожая, то под влиянием избытка азотистой пищи изменяется обычный тип развития однолетнего злака, а именно узел кущения не отмирает, начинается вторичное кущение, образуется «подсед» (или «подгон»), и если бы перенести растение в теплое помещение, то, очевидно, получился бы второй урожай зерна от тех же растений. Это начало новой жизни, новой вспышки синтетических процессов характерно отражается на ходе кривых: концы «ножниц» начинают снова сближаться и происходит второе пересечение линий (рис. 24, *а*), т. е. опять, при преобладании синтетических процессов, поглощение аммиака берет верх над поглощением NO_3, и ход кривых, который с первого взгляда мог бы казаться капризным, получает сполна закономерное объяснение [32*].

Чрезвычайно характерна картина, которую мы получили в опыте с концентрацией 480 мг на литр, т. е. удвоенной против примененной Сталем и Шайвом; здесь все последствия перекорма растений азотом выявились с чрезвычайной рельефностью (рис. 24, *б*) и то, что было скрытым в опытах Сталя и Шайва, стало очевидным.

Отметим три особенности этого опыта: во-первых, пересечение кривых поглощения здесь наступило намного раньше, чем у Сталя и Шайва; задолго до наступления стадии цветения растения уже не могли исполь-

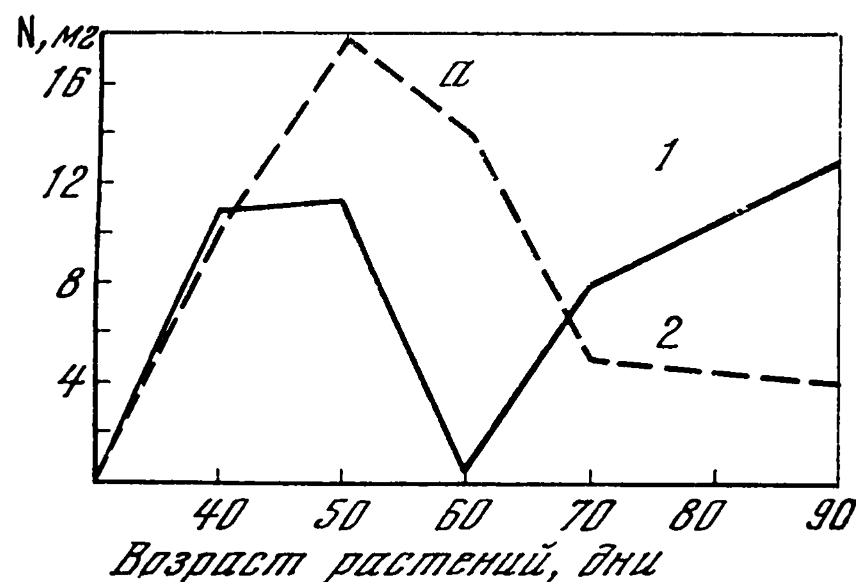
---

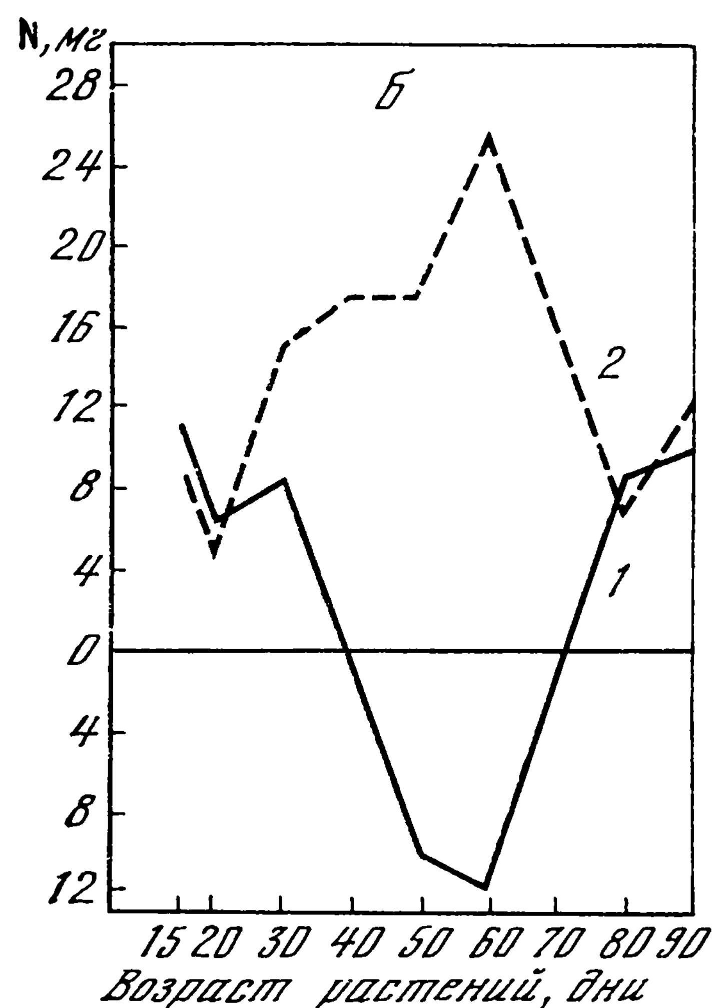
[32*] Вот основные цифры для этого нашего опыта:

		40	50	60	80	90
возраст растений (в днях)						
поглощено азота (в мг)	NH_4	11,0	11,6	0,3	8,2	13,8
	NO_3	10,0	17,9	14,2	5,0	4,0

В 60-дневном возрасте видимое поглощение аммиака приблизилось к нулю. На деле это, конечно, означает только то, что действительное поглощение аммиака было компенсировано образованием его за счет редукции NO_3. Интересно, что на чертеже, помещенном в работе Сталя и Шайва, также виден известный перелом в стадии созревания и некоторое сближение концов «ножниц», но они не продолжили опыта достаточное время, чтобы обнаружилось второе пересечение кривых поглощения NH_4 и NO_3, которое наблюдали мы.

Рис. 24. Поглощение аммиачного (1) и нитратного (2) азота из раствора NH_4NO_3 ассимилирующими растениями овса разного возраста при концентрации 240 мг азота на 1 л (а) и 480 м² азота на 1 л (б)





зовать весь аммиак, доставлявшийся им из двух источников (наличность готового NH_3 в растворе и его образование за счет редукции NO_3); во вторых, вслед за первым пересечением аммиачной кривой (с кривой нитратпой) здесь наступает ее второе пересечение с осью абсцисс, т. е. начинается выделение аммиака в окружающий раствор, чего не было у Сталя и Шайва; и, в-третьих, ясно выражено последующее возвращение к норме $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}} > 1$, когда после созревания зерен в метелках первого поколения начинаются вновь синтетические процессы, вызванные вторичным кущением.

Эти явления вполне отвечают нашему объяснению результатов опытов Сталя и Шайва, основанному на тождестве процессов у низших и высших растений (напомним формулировку для подобного случая у Варбурга: «Reine Reduktion ohne Assimilation» — [чистая редукция, никакой ассимиляции]).

При всей четкости полученных результатов все же было интересно установить наличность восстановления нитратов с образованием аммиака в таком опыте, в котором бы аммиак совершенно не вносился: для этого опыты были повторены в той же обстановке с заменой NH_4NO_3 на $NaNO_3$. Вот примеры из этой серии опытов:

возраст растений (в днях)		35	45	55	65	75	85
обнаружено NH_3	28 мг	0	0	0	0	0	0
в растворе при	280 мг	0	0	2,8	12,7	19,7 *	15,6 *
концентрации	560 мг/л	0	0	10,8	28,5	6,9 *	12,2 *

* Здесь наблюдалось образование кроме аммиака еще и нитритов.

Отсюда видно, что и при замене NH_4NO_3 селитрой во вторую половину вегетационного периода, когда потребление азота на построение органов уменьшается, аммиак выделяется в раствор, окружающий корни.

Этой серией опытов дано было окончательное подтверждение правильности нашего объяснения результатов, полученных Сталем и Шайвом. Хотя результаты, ими описанные, действительно наблюдаются при тех же условиях постановки опытов, но в сельскохозяйственной практике никакого значения не могут иметь цифры, полученные в исключительной обстановке, когда дозы азота в 240 раз превышают норму. Обобщать такие данные нельзя и никаких выводов об использовании аммиачного и нитратного азота в практике подкормки из них делать не следует. Но с физиологической стороны анализ подобных опытов, конечно, представляет интерес, причем кроме обмена веществ интересен и факт вторичного кущения у однолетнего злака: под влиянием крайнего избытка азотистой пищи овес осенью дает отрастание, напоминая поведение многолетней пшеницы Цицина.

Кроме сообщения Сталя и Шайва, работавших с овсом и гречихой, появилась еще на ту же тему работа Нафтеля, в которой описываются опыты с хлопчатником в сменных растворах. Выводы автора близки к выводам Сталя и Шайва, но все сказанное нами выше относится и к опытам Нафтеля, а кроме того, в его опытах сильнее всего сказалось влияние сопутствующих катионов и анионов на использование NH_4NO_3. Поэтому мы остановимся на его работе в следующем разделе.

Значение сопутствующих катионов и анионов при аммиачном и нитратном питании

Кроме таких условий, как запас углеводов, концентрация раствора NH_4NO_3, реакция среды и стадия развития растения на энергию поглощения NH_4 и NO_3 из раствора NH_4NO_3 влияют еще количественные соотношения других ионов в растворе.

Мы уже видели, что для аммиачного питания важно наличие повышенных количеств кальция в растворе и что присутствие других оснований (K и Mg) также имеет свое влияние, как это показали опыты Дикусара в нашей лаборатории в 1926 г. В то же время в наших опытах, как и в опытах Арвида Томсона, проявилось неблагоприятное влияние повышенного количества кальция при нитратном питании. Уже отсюда можно заключить, что при одновременном присутствии обоих источников азота, как это имеет место в случае введения в раствор NH_4NO_3, кальций будет сдерживать поглощение NO_3, и поглощение NH_4 будет брать перевес. Продолжателем наших работ на эту тему явился Цун Ли-Лу [33*] — профессор университета в Кантоне, который предпринял система-

[33*] Tsung Lee-Loo. Further Studies on the Absorption of Ammonia and Nitrate by the Root System.— Buli. Dep. of Biology College. Sun Jatsen University, N 10, 1931, Canton. China.

тическое изучение влияния ряда катионов и анионов на энергию поглощения NH_4 и NO_3 из раствора NH_4NO_3. При этом оказалось, что K^+ среди катионов и $SO_4{}^{2-}$ среди анионов действуют в обратном направлении, чем Ca^{2+}, а именно они благоприятствуют поглощению NO_3^- и при определенной концентрации могут вызвать перевес поглощения NO_3^- над поглощением NH_4^+. Из ряда опытов с ростками кукурузы по влиянию катионов приведем следующие примеры.

		Контроль	NaCl	KCl	$CaCl_2$	$MgCl_2$	$BaCl_2$ (0,01 н.)
Поглощено азота (в мг)	NH_4	78	85	83	72	66	60
	NO_3	54	60	153	33	47	7
Конечное pH		5,2	5,5	3,6 *	5,0	4,4	4,4

* Эта цифра очень показательна; очевидно, имел место сильный перевес поглощения K над Cl. Это наблюдалось в наших опытах с кукурузой (в отличие от других злаков), однако это означает, что ион NO_3^- мог поступать в растение не только с ионами калия, но и с ионами водорода.

Если ввести K_2SO_4, то получается еще больший перевес поступления NO_3^-, чем при введении калия с другими анионами.

		Контроль	KCl	KBr	K_2SO_4
Поглощено азота (в мг)	NH_4	120	83	86	88
	NO_3	86	113	113	153

Кроме опытов с добавлением только одной соли автор провел еще две серии опытов с возрастающими дозами KCl и $CaCl_2$ на фоне полной питательной смеси; здесь приведем только следующие данные из этих опытов.

Размер поглощения в зависимости от концентрации $CaCl_2$ и KCl (поглощено азота в мг)

		0	0,0001 н.	0,001 н.	0,01 н.	0,1 н.
Ряд с $CaCl_2$ (48 часов)	NH_4	92	123	100	80	60
	NO_3	72	72	65	32	19
Ряд с KCl (72 часа)	NH_4	154	164	200	180	156
	NO_3	147	160	240	293	327

У нас исследования по вопросу о влиянии сопутствующих ионов на отношение растений к аммиачному и нитратному питанию в связи с практикой применения удобрений проводились Л. С. Любарской (см. «Работы сектора химизации ЦИНС», т. II, 1934) и Турчиным (Ф. В. Турчин. О природе действия удобрений.— СХГ, 1936).

Как видим, соотношение поглощаемых ионов NH_4^+ и NO_3^- мепяется под влиянием кальция и калия в обратном направлении, а именно ион кальция, как менее подвижный, снижает поступление NO_3^-, и поглощение NH_4^+ получает перевес, в то же время сильно выражено положительное влияние калия на поглощение NO_3^-. Нужно, правда, отметить, что тот фон, на котором происходили эти изменения, был сам по себе уже относительно благоприятен для поглощения NO_3^-, так как питательная смесь, примененная в калийном ряду, содержала гораздо больше $MgSO_4$, чем $CaCl_2$; также было много дано NaH_2PO_4, а как раз ионы SO_4^{2-} способствуют поглощению NO_3^-, а ионы $H_2PO_4^-$ замедляют поступление NH_4^+. Этим объясняется столь значительный эффект от введения калия — поступление NO_3 возрастает вместе с концентрацией KCl.

Поэтому эти опыты требовали повторения при такой постановке, при которой менялся бы только состав катионов при постоянном количестве аниона, например испытывалось бы разное соотношение между калием и кальцием при постоянном количестве Cl^-, также и наоборот — разное соотношение между анионами при постоянном количестве катиона, что можно осуществить, например, при постепенной замене калия хлористого калием сернокислым.

Такие опыты по влиянию катионов (при постоянном анионе) были проведены в нашей лаборатории с ростками кукурузы; испытывалась последовательная замена кальция калием при постоянном количестве хлора. Вот результаты одного из опытов (1943).

Состав раствора			Поглощено азота (в мг)		Состав раствора			Поглощено азота (в мг)	
NH_4NO_3	$CaCl_2$	KCl	NH_4	NO_3	NH_4NO_3	$CaCl_2$	KCl	NH_4	NO_3
0,1 н.	—	—	19,7	14,4	0,1 п.	1/2	1/2	16,5	19,4
0,1 н.	1	0	18,1	12,9	0,1 н.	1/4	3/4	15,5	23,3
0,1 н.	3/4	1/4	16,9	16,5	0,1 н.	0	1	14,4	22,6

Здесь ясно намечается благоприятное влияние кальция на поглощение аммония и калия — на поглощение NO_3^-. Такая же замена кальция калием, но при другом анионе (SO_4^{2-}), была проведена с пшеницей.

Состав раствора			Поглощено азота (в мг)		Состав раствора			Поглощено азота (в мг)	
NH_4NO_3	$CaSO_4$	K_2SO_4	NH_4	NO_3	NH_4NO_3	$CaSO_4$	K_2SO_4	NH_4	NO_3
0,1 н.	—	—	13,2	11,1	0,1 н.	1/2	1/2	15,2	18,8
0,1 н.	1	0	16,2	12,9	0,1 н.	1/4	3/4	14,2	—
0,1 п.	3/4	1/4	15,7	15,6	0,1 н.	0	1	11,9	18,7

Здесь мы видим совершенно ту же картину: положительное влияние Ca на поглощение NH_4^+ и калия на поглощение NO_3^-. Наконец, третий опыт замены катиона при постоянном анионе был проведен с фосфатами $Ca(H_2PO_4)_2$ и KH_2PO_4.

Состав раствора			Поглощено азота (в мг)		Состав раствора			Поглощено азота (в мг)	
NH_4NO_3	$Ca(H_2PO_4)_2$	KH_2PO_4	NH_4	NO_3	NH_4NO_3	$Ca(H_2PO_4)_2$	KH_2PO_4	NH_4	NO_3
0,1 н.	—	—	16,1	12,2	0,1 н.	1/2	1/2	19,1	17,3
0,1 н.	1	0	21,9	12,7	0,1 н.	1/4	3/4	19,4	18,5
0,1 н.	3/4	1/4	21,9	15,8	0,1 н.	0	1	17,1	19,9

Опять та же зависимость, но точка пересечения сдвинута в сторону более высокой концентрации калия (и соответственно меньшей концентрации кальция). Таким образом, влияние Ca и K проявилось совершенно согласно в опытах с хлоридами, сульфатами и фосфатами. Относительно влияния смены анионов (Cl^- и SO_4^{2-}) мы имеем только один опыт, который пришелся на более холодное время; поэтому размеры поглощения были более низкими, однако проявилась ясная тенденция к повышенному поглощению аммония в случае Cl^-, а в случае SO_4^{2-} — к повышенному поглощению нитратов.

В 1944 и 1945 гг. опыты по изучению влияния катионного состава раствора на поглощение растениями аммиачного и нитратного азота были продолжены в нашей лаборатории Н. С. Турковой. В опытах, проведенных с ассимилирующими ростками пшеницы, было получено снова подтверждение ранее установленных фактов о значении соотношения между калием и кальцием для поступления аммиачного и нитратного азота в растение. В этих опытах мы пошли дальше и, помимо определения количества поступивших в растение аммиака и азотной кислоты, изучали также изменения в обмене азотистых веществ, учитывая накопление в растении амидов, аминокислот и белкового азота.

Из большого числа опытов приведем здесь данные лишь двух опытов — одного с хлоридами калия и кальция и другого с сульфатами. Азот в обоих опытах был дан в виде NH_4NO_3.

Опыт с хлоридами

Соотношение K и Ca	KCl	0	1/5	1/2	4/5	1
	$CaCl_2$	1	4/5	1/2	1/5	0
Поглощено азота (в мг)	NH_3	58	57	45	43	19
	NO_3	31	45	45	56	60
Азот амидов (в мг на 200 растений)		31	28	28	21	15
Азот аминокислот (в мг на 200 растений)		11	17	18	25	38
Азот белков (в % от общего азота)		70	73	72	69	64

Опыт с сульфатами

Соотношение K и Ca	K_2SO_4	0	1/5	1/2	4/5	1
	$CaSO_4$	1	4/5	1/2	1/5	0
Поглощено азота (в мг)	NH_3	57	46	40	36	20
	NO_3	19	36	38	52	55
Азот амидов (в мг на 200 растений)		36	29	24	20	21
Азот аминокислот (в мг на 200 растений)		4	20	21	50	38
Азот белков (в % от общего азота)		73	70	74	58	59

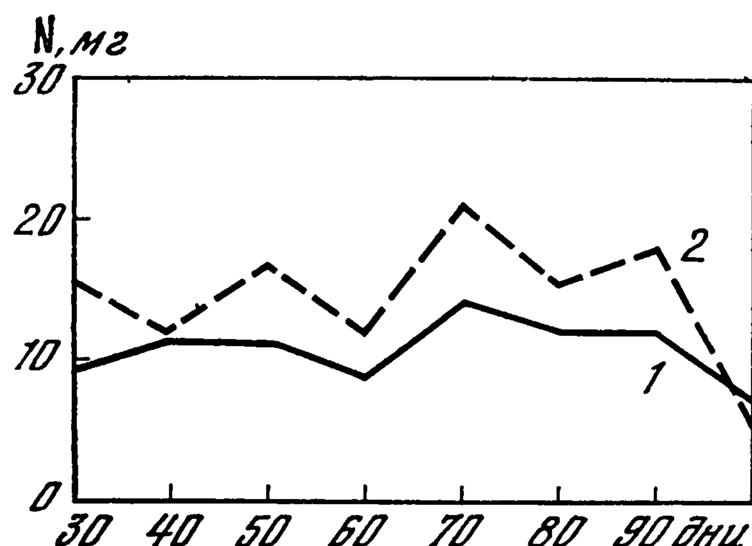
Результаты этих опытов показали, что изменение соотношения между калием и кальцием оказывает довольно сильное влияние на обмен азотистых веществ в растении.

Увеличение отношения Ca : K в растворе повышает относительное содержание белкового азота (в процентах от общего азота), и одновременно повышается накопление амидов. В опыте с хлоридами содержание азота амидов повышается с 15 до 31 мг (на 200 растений), а в опыте с сульфатами — соответственно с 21 до 36 мг. Но наиболее резкое изменение обнаружено для фракции азота аминокислот, содержание которого возрастает в обратном направлении, т. е. увеличивается с повышением отношения K : Ca (с 11 до 38 мг в опыте с хлоридами и с 4 до 50 мг в опыте с сульфатами). Таким образом, мы встречаемся в данном случае с глубоко идущими изменениями внутренних процессов обмена азотистых веществ в растении под влиянием условий минерального питания.

Во всяком случае уже из имеющихся данных ясно, что для нормального использования аммиачного азота питательная смесь должна содержать гораздо больше кальция, чем в случае азота нитратного, иначе смесь становится физиологически неуравновешенной; мы видели выше, как резко проявился антагонизм между кальцием и аммонием не только в случае полной замены NO_3^- на NH_4^+, но и в случае половины замены, как это бывает при введении NH_4NO_3; и в этом случае уже недостаточно сохранить то отношение N : Ca, какое принято в стандартных нитратных смесях (Кнопа, Гельригеля и др.).

Мы приводили выше данные опытов В. С. Ивановой [34*], показавшие, что в смесях, содержащих NH_4NO_3, количество кальция должно быть удвоено по сравнению с отношением Ca : N в растворах, содержащих $Ca(NO_3)_2$, чтобы восстановить равновесие между одновалентными и двухвалентными катионами, нарушенное введением NH_4. Недоучет этой роли кальция как антагониста аммония может привести к парадоксальным результатам, которые иногда неправильно обобщаются. Такой случай мы

[34*] См. также данные Демиденко, цитированные выше (стр. 102); полностью работа Демиденко напечатана в XVI т. «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ».



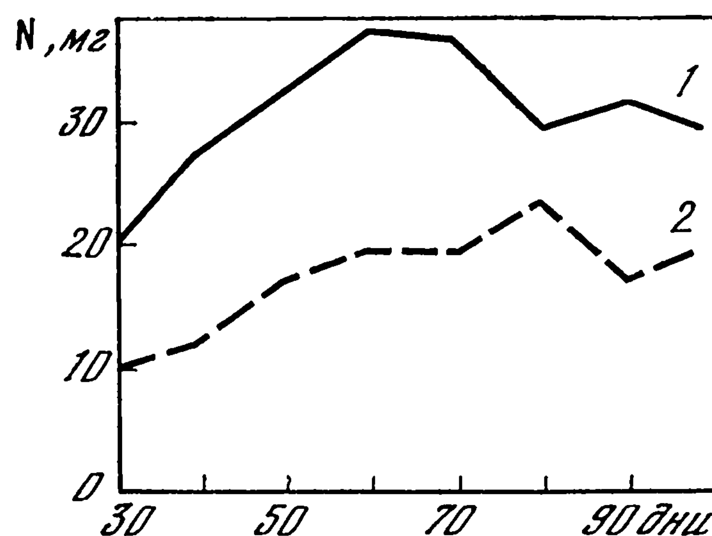


Рис. 25. Поглощение аммиачного (*1*) и нитратного (*2*) азота из раствора NH_4NO_3
Состав питательной смеси по Нафтелу (опыт с хлопчатником)

Рис. 26. Поглощение аммиачного (*1*) и нитратного (*2*) азота из раствора NH_4NO_3
В питательной смеси увеличена концентрация кальция (опыт с хлопчатником)

имеем, например, в опытах Нафтеля[35*] с хлопчатником, где наблюдался перевес поглощения NO_3^- над поглощением NH_4^+, несмотря на то что опыт проводился с ассимилирующими растениями, поскольку питательная смесь Нафтеля помимо избытка азота содержала необычно большое количество сульфатов. Кроме того, в ней магний преобладал над кальцием, а отношение Ca : N не было повышено по сравнению с $Ca(NO_3)_2$, что необходимо делать, когда вводится в значительных количествах NH_4. В этой смеси содержалось на литр Ca — 114 мг, а Mg — 172 мг, SO_4— 808 мг, а хлора — только 103 мг.

Кроме своеобразного состава смеси в опытах Нафтеля сказалось еще влияние избыточного азотистого питания: он давал 80 мг азота на литр, сменяя раствор через каждые 48 или 72 часа, тогда как Гельригель давал то же количество на весь вегетационный период.

Когда эти опыты были повторены у нас В. С. Ивановой с повышенным количеством Ca в растворе, явление, описанное Нафтелем, исчезло, и во всех возрастах растения поглощали из раствора NH_4NO_3 больше основания, чем кислоты; то же имело место при изменении pH в смеси Нафтеля от 4,8 до 7 (см. таблицу и рис. 25 и 26).

Вышеприведенные факты дают повод к частичному пересмотру вопроса о «физиологической амфотерности» NH_4NO_3. Именно пока не вводился в опыты новый фактор (изменения в соотношении сопутствующих ионов), не удавалось наблюдать действительный переход от отношения $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}} > 1$ к отношению $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}} < 1$; были только случаи, в которых выделение растениями аммиака, получающегося при восстановлении нитра-

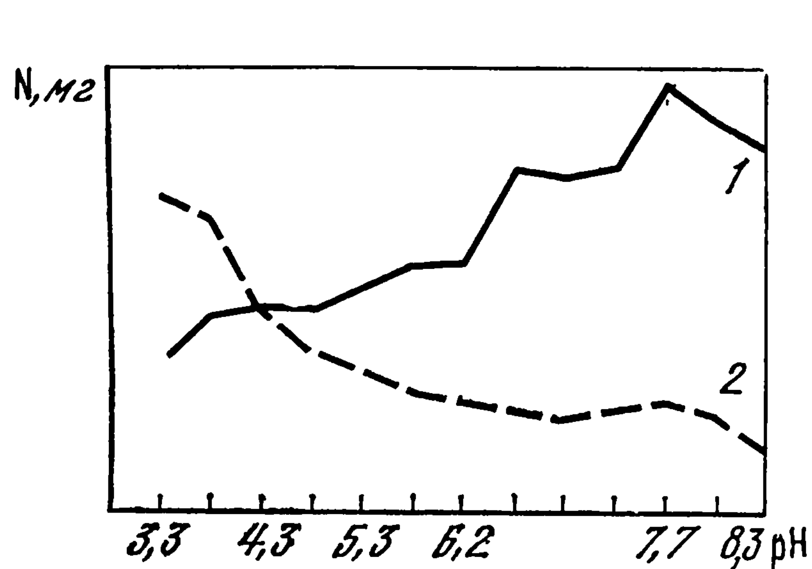
35* J. A. Naftel. The Absorption of Ammonium and Nitrate Nitrogen by Various Plants at Different Stages of Growth.— Journ. Amer. Soc. Agron., № 2, 1931.

Возраст растений (в днях)	Поглощено азота (в мг)					
	питательная смесь Нафтеля при pH 4,8		питательная смесь Нафтеля при pH 4,8, но с удвоенным количеством Ca		питательная смесь Нафтеля при pH 7	
	NH_4	NO_3	NH_4	NO_3	NH_4	NO_3
30	9,3	15,6	12,9	9,8	13,8	7,1
60	8,7	11,9	37,5	19,4	20,6	17,9
80	12,2	13,4	29,6	23,6	24,0	15,1
100	6,9	6,0	19,8	11,3	10,8	6,8
	Вес растений (в г)					
	30,7		67,1		58,6	

тов, создавало видимость преобладания поглощения нитратов. Так, постепенное снижение pH не приводило к преобладанию поглощения NO_3 из раствора NH_4NO_3 до тех пор, пока не подавлялись процессы синтеза амидов и аммиак, являющийся продуктом восстановления NO_3, не начинал выделяться наружу, что и давало повод говорить, что в этих условиях проявляется не физиологическая, а «патологическая щелочность» NH_4NO_3. Это наблюдалось в ряде наших опытов (см. выше) с этиолированными растениями, также и в опытах Цун Ли-Лу с двухнедельными проростками кукурузы, выращенными на свету. Приведем здесь только графическое изображение результатов одного из этих опытов (рис. 27).

Мы видим, что переход от $\frac{N_{\text{амм}}}{N_{\text{нитр}}} > 1$ к отношению $\frac{N_{\text{амм}}}{N_{\text{нитр}}} < 1$ имеет место при реакции pH 4 и ниже, т. е. в условиях, заведомо неблагоприятных для развития растений и нормального синтеза амидов. Сопоставляя с этим другую диаграмму, взятую из опытов Нафтеля, проведенных со своеобразной питательной смесью, в которой соотношение катионов и анионов было благоприятно для поглощения нитратов (рис. 28), мы видим, что перекрест кривых происходит в интервале pH между 5 и 6, т. е. при такой реакции, которая не могла вызывать патологических изменений в обмене веществ. Таким образом, можно сказать, что наконец найдены случаи, когда действительно можно говорить о физиологической амфотерности NH_4NO_3. Однако для ее проявления нужны особые условия, обычно же NH_4NO_3 ведет себя как соль физиологически кислая.

Если теперь учесть всю совокупность работ физиологов и агрохимиков по вопросу об аммиачном и нитратном питании и сделать из них выводы, с которыми необходимо считаться агрономам при применении удобрений, то необходимо подчеркнуть следующие главные положения.



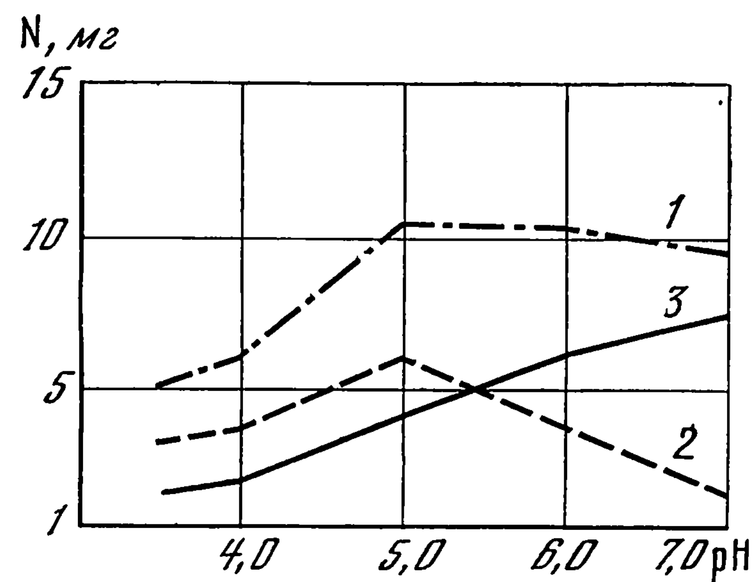


Рис. 27. Поглощение аммиачного (*1*) и нитратного (*2*) азота из раствора NH_4NO_3 при различных pH (по данным опытов Цун Ли-Лу)

Рис. 28. Поглощение аммиачного (*3*) и нитратного (*2*) азота из раствора NH_4NO_3 при различных pH (по Нафтелу)

1 — общий азот

Окончательно установлена не только неверность прежнего представления о необходимости предварительного перехода аммиачного азота в нитратный, но также и неверность более позднего представления о медленном поступлении аммиачного азота в растения по сравнению с азотом нитратным; *наоборот*, при одновременном присутствии в растворе того и другого аммиак обычно быстрее поглощается и потребляется в процессах синтеза, чем нитраты.

Но как неправильно было прежнее мнение об абсолютном преимуществе нитратного питания перед аммиаком, точно так же неправильно было бы из вышесказанного делать обратный общий вывод об абсолютном преимуществе аммиачного питания перед нитратным, так как *в зависимости от условий внутренних и внешних результат будет различен, и оптимальные комбинации этих условий для аммиака и нитратов не совпадают.*

Если мы сумеем осуществить оптимальные для каждого источника азота условия, то придем к принципиальному признанию их равноценности с физиологической стороны; если же мы будем их сравнивать при каких-либо одних условиях, то перевес может быть то на стороне одного, то другого источника, смотря по этим условиям. Но из вывода физиологического мы не можем еще прямо делать вывод агрономический, так как создавать оптимальные условия для каждого источника мы можем легко только в лабораторном опыте, где в наших руках находятся все рычаги по изменению свойств среды.

При переходе же к полевой обстановке, где мы не можем удалять так, как в текучих растворах, остаточные анионы или катионы, необходимо учесть их влияние на реакцию почвы и непосредственно на само растение и, *только присмотревшись к этим реальным взаимоотношениям меж-*

ду удобрениями, растением и почвой, сделать вывод, приложимый на практике.

Прежде всего нужно отметить, что если не применяется искусственное регулирование реакции, *то растение легче противостоит сдвигу реакции в щелочную сторону, чем в кислую.* Так, в случае внесения $NaNO_3$ или $Ca(NO_3)_2$ и более быстрого поглощения растением кислоты, чем основания, в окружающей среде тем не менее накопляются не свободные щелочи, а бикарбонаты благодаря выделению углекислоты при дыхании корневой системы. А так как углекислоты получается избыток, то значительной щелочности не наблюдается, реакция близка к нейтральной. Если же мы вносим NH_4Cl или $(NH_4)_2SO_4$, то остающейся кислоте растение ничего противопоставить не может, и конечный результат целиком зависит от свойств почвы, от богатства ее основаниями. Поэтому на почвах, бедных основаниями (песчаные, многие торфяные, а также сильнооподзоленные), такие аммиачные соли, как NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$, действуют хуже, чем селитра, по крайней мере при повторном их применении. Выход, конечно, есть — это применение известкования, но пока у нас мало заизвесткованных почв. Для широкого известкования необходимо правильно организованное агрохимическое обслуживание отдельных микрорайонов, чего мы пока не имеем.

Поэтому для северных почв более пригодны соединения аммония с азотной, фосфорной и угольной кислотами, чем с серной и соляной. Но и при этом остается вопрос о вытеснении кальция из поглощающего комплекса, в то время как $Ca(NO_3)_2$ и $CaCN_2$ способствуют пополнению поглощенного кальция в подзолистых почвах.

Есть и другое отличие физиологического опыта и полевого в отношении регулирования концентрации: в вегетационном опыте нетрудно ввести аммиак в несколько приемов; особенно в текучих растворах легко избежать повышения концентрации аммиака в начальной фазе развития растений. В поле, если не говорить об орошаемом хозяйстве или влажном климате, *часто до посева дается все количество удобрения, потребное на вегетационный период.* Как раз в то время, когда молодые растения требуют мало азота, они получают аммиачную соль в наибольшей концентрации, а по мере возрастания потребности в азоте концентрация эта убывает.

Особенно для проростков, бедных запасом углеводов, как свекловичные, избыток аммиака в первое время опасен. Отсюда трудность проводить местное (рядовое) удобрение свеклы аммиачными солями, даже свободными от H_2SO_4 и HCl, почему и предпочитают селитру, у которой предел переносимой концентрации лежит выше, чем у аммиачных удобрений.

Но при орошаемых культурах вполне возможно внесение аммиачных солей в рассрочку. То же возможно при окучиваемых культурах, но как раз картофель хорошо переносит аммиачное удобрение и при посадке благодаря громадному запасу крахмала в крупном посевном материале.

Менее изученным в полевой обстановке, но вполне мыслимым на почвах, очень бедных основаниями, является несоблюдение еще и третьего условия хорошего действия аммиачных солей — это неуравновешенности двухвалентными катионами (Ca и Mg) того избытка одновалентного катиона (NH_4), который мы создаем внесением аммиачных солей в такие почвы [3].

Когда такие случаи обнаруживаются, то недостаток сравнительно легко устранить, если на таких почвах избегать внесения удобрительных смесей, не содержащих кальция, например нитрофоски, т. е. смеси аммофоса, амселитры и калийной соли; являясь очень концентрированным «полным» удобрением (т. е. включающим NPK), она для названных почв слишком односторонняя по отсутствию двухвалентных катионов.

Таким образом, если физиолог прав, признавая принципиальную равноправность аммиачного и нитратного питания, то агроном будет тоже прав, если скажет, что ему гораздо легче работать с нитратами, особенно же с нитратом кальция, так как тогда исчез бы и тот минус, который приписывался чилийской селитре [36*].

Но пока промышленность производит аммиак в большем количестве и значительно дешевле, чем нитраты, то агроному ничего не остается, как углублять свои познания по агрохимии и овладевать особенностями применения аммиачных удобрений, давая заказ промышленности на те их комбинации, которые наименее обременены нежелательными анионами, как $NH_4H_2PO_4$ или $NH_4NO_3+CaHPO_4$.

Часть III

АЗОТ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ СССР

Поднятие урожаев и роль азота в земледелии

Вся история земледелия в Западной Европе свидетельствует о том, что главным условием, определяющим среднюю высоту урожая в разные эпохи, была степень обеспеченности сельскохозяйственных растений азотом. Был тысячелетний период господства трехполья — от времени Карла Великого до эпохи Лавуазье, когда не было никакого планомерного

[36*] При внесении $NaNO_3$ вытесняется из поглощающего комплекса кальций и заменяется натрием, что при систематическом внесении в течение многих лет может ухудшать структуру почвы. На этом основано неверное утверждение, будто вообще «минеральные удобрения портят почвенную структуру», тогда как $Ca(NO_3)_2$ и $CaCN_2$ могут ее только улучшать. Но в ряде случаев наличие натрия в чилийской (или синтетической) селитре оказывается даже полезным, как, например, при удобрении сахарной и кормовой свеклы.

притока азота извне в хозяйство, взятое в целом, когда только перекачивался азот из почвы лугов в почву полей (через сено и навоз). Но так как луга распахивались по мере роста населения, то этот источник становился все более скудным, и XVIII столетие застает большую часть Европы в стадии стабилизации урожаев на уровне 7 ц с 1 га. Затем в конце XVIII столетия в Англии, а еще раньше в Бельгии и Голландии появляется культура клевера, на смену трехполью приходит плодосмен, через клевер почва обогащается азотом воздуха как прямо, через корневые остатки, так и через навоз, получающийся от скармливания клеверного сена,— и постепенно урожаи удваиваются, достигая в названных странах двойного уровня (15—16 ц) против средневековья.

Этого относительного насыщения хозяйства азотом долго не замечали, как не замечают воздуха, которым дышат, пока Буссенго не поставил со всей четкостью вопрос о значении азота в жизни растений. Он, во-первых, показал (1837—1838), что благоприятное действие бобовых на последующие культуры связано с доступностью им какого-то обильного источника азота, недоступного хлебам, а во-вторых, установил, что наиболее активными удобрениями для последних являются азотистые (гуано, жидкие выделения скота). Хотя источник азота, которым пользуются бобовые, не был в то время с точностью установлен, Буссенго уже в 1837 г. высказал довольно определенное предположение, что это — азот воздуха. После того как благодаря клеверу азотный минимум в почвах Европы был смягчен, стало выявляться положительное действие фосфора на урожаи, а Либих выступил с проповедью минерального питания и выдвигал значение зольных элементов (фосфора и калия в особенности), не замечая значения клеверного фона и думая, что азот сам по себе приходит из воздуха в виде NH_4HCO_3. Только применение метода искусственных культур (60-е годы прошлого столетия) показало, что нужно синтезировать идеи Буссенго (N) и Либиха (PK). NPK стало девизом в применении удобрений, и по этому пути шел поиск сырья для нарождающейся туковой промышленности.

Поэтому новая эра в земледелии наступила не в 40-х годах, когда прозвучала проповедь Либиха, а 40—50 лет спустя, когда физиология растений и агрономическая химия указали, какие именно вещества нужны растениям, а химическая промышленность стала давать минеральные удобрения в больших количествах и по дешевой цене. Когда к азоту клевера присоединился азот селитры, то к нему уже нужно было добавлять PK, в то время как в прошлом азот клевера мог еще повышать урожаи в одиночку, по крайней мере на «клеверных» почвах. Постепенно возрастая, примерно с 1885 г., применение минеральных удобрений (на фоне плодосмена) стало массовым.

При этом новый фактор явился не на смену прежним, а в дополнение к ним, причем имело место не простое суммирование, а еще и усиление действия клевера и навоза. Минеральные удобрения действуют одновременно двумя путями: они непосредственно повышают эффективное

плодородие почвы, а кроме того, увеличивают количество и повышают качество навоза. С ростом урожаев зерна повышаются и урожаи соломы, идущей в подстилку; с повышением урожаев сахарной свеклы возрастает количество ботвы и жома, идущих на корм; минеральные удобрения и известкование повышают урожаи клевера, а следовательно, и накопление азота и делают «клевероспособными» почвы, на которых раньше не рос клевер, повышают урожаи сена на лугах и содержание азота в нем — все это сказывается на количестве и качестве навоза. Таким образом, количество и качество навоза растет не только под влиянием клевера, но и под влиянием минеральных удобрений.

Если в конце прошлого и начале настоящего столетия ведущая роль среди азотистых удобрений принадлежала селитре, то после войны 1914—1918 гг. эта роль перешла к синтетическому аммиаку; последовало еще большее удешевление азотистых удобрений (цена на сульфат аммония к 30-м годам опустилась до 50% цены за пшеницу), и урожаи в передовых странах Европы достигли *тройной и четверной высоты* против средневековья (25—30 ц в Бельгии и Голландии).

В начале этого столетия наши урожаи были в 2—2,5 раза ниже уровня урожаев в ряде стран Западной Европы, а в Бельгии, Голландии, Дании средний урожай зерновых был почти в 3 раза выше, чем у нас. Тогда склонны были относить эту разницу за счет более благоприятных естественных условий — климатических и почвенных. Однако это объяснение совершенно неправильно; наоборот, почвы на Западе по природе хуже наших, их плодородие есть явление вторичное, оно создано применением труда и знаний, и если в климатических условиях Голландии и Англии неизвестны летние засухи Заволжья и сильные морозы зимой, зато там нет солнца не только Киева, но даже и летнего солнца Москвы. Во всяком случае, не климат, а почва на Западе *переделана руками человека*, и при том же климате 150—200 лет тому назад Запад имел такие же низкие урожаи, как дореволюционная Россия (около 7 ц). Два фактора играли роль в переделке почв Запада: 1) клеверосеяние и 2) минеральные удобрения (включая известкование), причем тот и другой фактор влияли на плодородие почвы как прямо, так и через навоз. Клевер, как азотособиратель, с одной стороны, обогащает почву своими корневыми остатками, с другой — он же повышает количество корма, а значит, и навоза в хозяйстве. Одновременно благодаря клеверу повышается и процентное содержание азота в кормах и навозе.

Так как в Западной Европе введение плодосмена и введение минеральных удобрений были отделены значительным промежутком — около 100 лет для Англии, еще больше для Бельгии,— то имеется возможность оценить размер действия того и другого приема по изменению средней высоты урожаев за последние 150 лет.

Схематически движение урожаев в Западной Европе, происходившее под знаком азота (сначала целиком, а затем — по преимуществу), может быть изображено тремя ступенями лестницы (рис. 29).

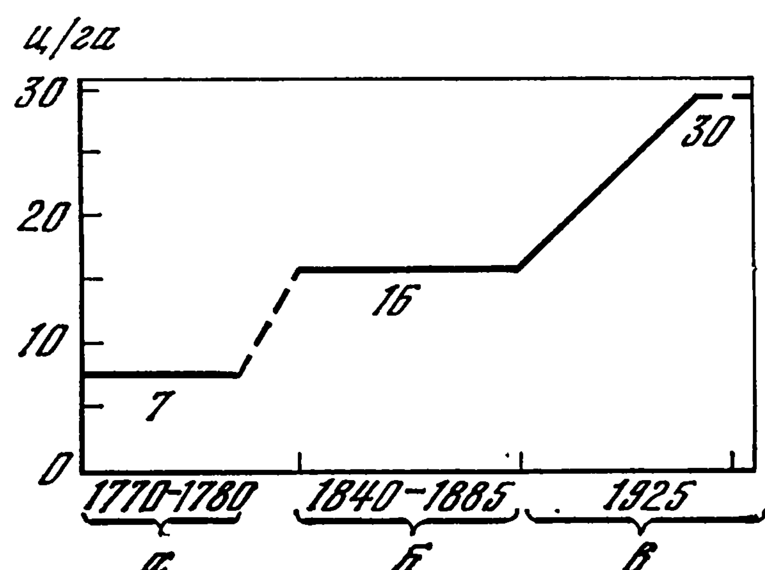


Рис. 29. Изменение уровня урожаев пшеницы в Западной Европе за 150 лет

а — средневековое трехполье (без клевера); *б* — влияние плодосмена (с клевером); *в* — влияние минеральных удобрений на фоне клевера

Для подтверждения нашей схемы мы можем привести следующую справку о движении урожаев в Голландии, Бельгии и Германии (в ц/га).

Страна	I Период трехполья (средние века)	II Период плодосмена		III Влияние введения минеральных удобрений			
		1840—1870 гг.	1880 г.	1891—1900 гг.	1909—1913 гг.	1926—1930 гг.	1936—1938 гг.
Голландия	7	15,5	17,7	19,4	22,5	29,8	31,8
Бельгия	7	15,0	15,3	19,3	25,3	25,5	28,5
Германия	7	13,0	14,0	17,4	22,7	(19,9)	24,3

Примечание. Уровень урожаев в 7 ц относится в Германии к 1780—1790 гг., в Бельгии и Голландии поднятие урожаев под влиянием клевера началось раньше.

Отсюда видно, что уже один переход от зернового трехполья к плодосмену с культурой клевера и корнеплодов на полях привел постепенно — через ряд десятилетий — *к удвоению урожаев* против средневекового уровня в 6—7 ц до 13—17 ц. Но на этом уровне они стабилизировались надолго, и только позднее под влиянием введения минеральных удобрений последовала новая волна еще более мощного и более быстрого поднятия урожаев — до тройной и четверной высоты против исходного уровня (7 ц). Это движение началось в середине 80-х годов и шло crescendo с перерывом во время первой мировой войны, особенно для Германии *.

Вот этого-то и не предвидел Мальтус, полагавший, что рост земледельческой продукции будет отставать от роста населения. Необходимо доба-

* Мы видим, что Бельгия и Голландия шли «в ногу» по пути поднятия урожаев до 15 ц, а дальше наблюдается различие в пользу Голландии,— это потому, что Голландия как соучастница Англии во владении морями начала применять чилийскую селитру раньше, чем Бельгия, а кроме того, создавая сеть плотин и каналов, Голландия обеспечила дешевый водный транспорт фекальных масс из городов на поля. Германия же запоздала против западных соседей с введением травосеяния, поэтому она только к половине 80-х годов достигла тех урожаев, какие Бельгия имела уже в 40-х годах прошлого столетия.

вить, что одним ростом урожаев хлебов еще не определяется общий рост продукции, вызванный переходом к плодосмену, а именно введение на 25% площади пропашных культур действовало в том же направлении, так как картофель дает тройную продукцию сухого вещества на гектар по сравнению с хлебами, а корнеплоды на фоне высокого плодородия могут дать и еще больше. Кроме того, упразднение пара, занимавшего при трехполье 33% пахотной площади, увеличило посевную площадь на 50%. Если учесть все это и перечислить урожай всех культур в зерновые эквиваленты **, то получим такое возрастание продукции на гектар посевной площади для условий Бельгии и Голландии (в ц/га):

	Зерновые эквиваленты пищевого значения	То же, включая корма
При трехполье	**4,3**	5,9
При плодосмене до (введения минеральных удобрений	19,0	29,0
То же после введения минеральных удобрений	**38,0**	52,0

Таким образом, возрастание продукции шло с темпом, близким к отношению квадратов $1^2 : 2^2 : 3^2$, т. е. в 4 и в 9 раз, а не так, как думал Мальтус (в арифметической прогрессии). При исчислении скорости размножения населения Мальтус сделал обратную ошибку [3*], сильно преувеличив эту скорость. Но все это не требует подробной аргументации, так как оказалось, что кризисы в капиталистических странах происходят не от недостатка продуктов, а от перепроизводства.

Что быстрый подъем урожаев в конце XIX столетия был вызван главным образом именно минеральными удобрениями, следует из того обстоятельства, что в других отношениях никаких заметных изменений в это время не произошло [4*], хорошая обработка полей в Бельгии и Голландии вошла в обиход гораздо раньше; введение пропашных культур помогло очистить поля от сорных трав (несмотря на сокращение, а позд-

** При этом условном пересчете 1 ц пшеницы и ржи принимается за единицу, урожай овса делится на 1,2, картофеля — на 4, корнеплодов — на 5, клеверного сена — на 2,5, овсяной соломы — на 4, ржаной — на 5.

[3*] При жизни Мальтуса прирост населения в Англии был 13 на тысячу, т. е., близок к русскому приросту в период 1860—1914 гг., отвечающему удвоению населения за 50 лет, тогда как Америка удваивала население за 25 лет (но тут участвовала и иммиграция); даже Франция имела прирост 9 на тысячу. Но через 100 лет после выступления Мальтуса Франция снизила прирост до 0,6, почти прекратив размножение (причем не беднота, а буржуазия была застрельщицей в переходе на «систему двух детей»), а земледельческая продукция во Франции может быть еще сильно поднята; Германия в период 1885—1914 гг. показала пример более быстрого поднятия продукции, чем численности населения. В Соединенных Штатах, не знавших, куда девать избытки пшеницы и кукурузы, прирост населения постепенно падал; он вдвое ниже, чем в Польше, Югославии и Болгарии, и, по подсчетам статистиков, к 1970 г. число рождений и смертей должно сравняться, т. е. США окажутся по приросту населения в положении Франции, несмотря на то, что средств продовольствия в США гораздо больше, чем где-либо.

[4*] В этот период, когда Европа пошла по пути химизации, Америка пошла по пути механизации, но ее урожаи не сдвинулись с прежнего уровня.

нее и полное исчезновение паровой площади), и одновременно улучшились физические свойства почв под влиянием клевера и навоза. Немецкий агроном Шверц в своих письмах о бельгийском хозяйстве в самом начале XIX столетия описывает высокий уровень агротехники, там господствовавшей, и говорит, что на полях почва обрабатывалась так тщательно, как в Германии на огородах. Вообще в то время для Германии образцом служило хозяйство Англии и Бельгии.

В конце же XIX столетия ничего нового не случилось в Бельгии и Голландии ни в области обработки почвы, ни в области селекции, и севообороты новым изменениям не подвергались. *Единственным по существу новым фактором воздействия на урожай явились в это время минеральные удобрения, но они, конечно, подняли значение и прежних факторов — клевера и навоза.*

Именно к этому времени относились слова К. А. Тимирязева, что европейское земледелие стало тем, что оно есть, только благодаря агрономической химии и физиологии растений.

Механизация земледелия в Европе тогда была ограничена введением жатвенных машин, но жнейка не повышает урожая. Центром развития механизации были Соединенные Штаты, но там процесс поднятия урожаев, характерный для Европы, не происходил. Вообще механизация является прежде всего средством охвата больших пространств в странах дорогих рабочих рук, она непосредственно уменьшает количество труда на производство зерна, а химизация уменьшает эти затраты тем, что повышается урожай при почти той же затрате труда на гектар. Эти соотношения между значением химизации и механизации могут быть иллюстрированы следующими данными:

<table>
<tr><th></th><th>Урожай (в ц/га)</th><th>Показатель химизации *</th><th>Показатель механизации **</th><th>Густота населения</th></tr>
<tr><td>Голландия</td><td>30</td><td>109</td><td rowspan="5"><1</td><td>217</td></tr>
<tr><td>Бельгия</td><td>27</td><td>89</td><td>257</td></tr>
<tr><td>Япония</td><td>27</td><td>75</td><td>157</td></tr>
<tr><td>Германия</td><td>22</td><td>67</td><td>138</td></tr>
<tr><td>Франция</td><td>15</td><td>22</td><td>75</td></tr>
<tr><td>США</td><td>9</td><td>12</td><td>10</td><td>13</td></tr>
<tr><td>СССР (Узбекистан)</td><td>17</td><td>106</td><td>8</td><td>—</td></tr>
</table>

* $N+P_2O_5+K_2O$ кг/га. ** Число тракторов на 1000 га посева.

Если мы обратимся к нашим условиям, то окажется, что проблема азота также играла большую роль в развитии нашего земледелия и практика бессознательно нащупывала наиболее дешевые пути ее разрешения, но только первоначально у нас главную роль играл не азот клевера, а азот чернозема.

Как только южные степи становились безопасными от нашествия кочевников, туда направлялась стихийная крестьянская колонизация, привлекаемая возможностью не тратить сил на корчевку и, не прибегая к навозному удобрению, получать хорошие урожаи хлебов за счет богатства азотом чернозема — урожаи, правда, в среднем вовсе не столь высокие и весьма неустойчивые [5*], но дававшие дешевый хлеб. При этом не только все более возрастала площадь пашни на юге, но и сокращалась запашка на севере по мере того, как развивалась железнодорожная связь с югом.

Если не касаться сокращения пашни на севере, происшедшего с отменой крепостного права, а иметь в виду последующий период, когда в нечерноземной полосе преобладала крестьянская запашка, то все же можно заметить систематическое ее сокращение. Например, в Московской губернии посевы ржи в 1864 г. занимали около 400 тыс. га, в 1900 г.— около 220 тыс., а в 1916 г.— лишь 150 тыс. га (общая же площадь пашни с 1200 тыс. га опустилась до 460 тыс. га). Между тем черноземная полоса распахивалась все больше и больше. Поволжье давало богатое белками зерно твердых пшениц, и в течение столетий господствовало безнавозное хозяйство. Еще в 1830 г. применение навоза под Харьковом считалось вредным, а когда потребовался навоз, то первоначально он действовал своим фосфором, а не азотом. Так, Харьковская станция в начале XX столетия наблюдала одинаковые 50-пудовые приросты урожая озимой ржи как от суперфосфата, так и от навоза и нулевой прирост от селитры. Правда, это относилось только к хлебам, и притом озимым, идущим после богатого нитратами черного пара, а сахарная свекла уже предъявила спрос на азот. Потребность ее в азоте раньше удовлетворялась тем, что и свеклу помещали после черного пара (небывалое явление в нечерноземной Западной Европе), но потом стали ей давать и селитру (еще в конце XIX столетия), а в XX столетии и хлеба стали реагировать на азот. Так, клевер оказался, как и в Западной Европе, прекрасным предшественником для хлебов (опыты Носовской и Сумской станций). Затем прямые опыты сети НИУИФ [6*], руководимой Лебедянцевым, показали, что яровые хлеба на черноземе сильно реагируют на азотистые удобрения. Так стал подходить к концу период «азотного эльдорадо», и на черноземе, по крайней мере в западной его части, стали необходимыми те же самые мероприятия для разрешения азотной проблемы, как и в северной нечерноземной полосе (клевер и навоз для хлебов, а для технических культур — еще и значительное количество азотистых удобрений).

[5*] Частая смена высокоурожайных и малоурожайных засушливых лет приводила к тому, что наиболее высокие средние урожаи были в Прибалтике и на севере. Тем не менее благодаря большим посевным площадям и редкому населению юг был поставщиком хлеба для севера.

[6*] Научный институт по удобрениям и инсектофунгицидам.

Удивительным образом роль азота в земледелии нечерноземной полосы не была сразу оценена в полной мере; причиной этого было то обстоятельство, что при постановке опытов исходили из экономики существующего производства, вместо того чтобы думать о роли государства в организации производства будущего. Так, когда по рекомендации Тимирязева и Чупрова агрономы Московского земства решили (с 1908 г.) начать опыты с минеральными удобрениями на крестьянских землях, то в этих опытах никак не решались применять селитру или брали ее в ничтожных количествах, в роли какого-то стимулятора, мотивируя это тем, что привозная (из Чили) селитра слишком дорога и крестьянин покупать ее не будет, т. е. смешивали исследовательские цели с пропагандой применения селитры. Из-за этого минеральные удобрения не дали ожидаемого эффекта, что ошибочно объяснялось плохими физическими свойствами наших почв, и делалась ссылка на Англию, где между введением травосеяния и минеральных удобрений прошло целое столетие, а потому, дескать, и у нас вводить последние преждевременно. Такая же ошибка повторилась и позднее, а именно в 20-х годах, когда средства опытным станциям на постановку опытов с минеральными удобрениями не отпускались.

Но и в тех отдельных случаях, когда опытные станции все же ставили опыты по восьмерной схеме, они следовали примеру первых опытов Московского земства (1908—1912) и вносили только 15 кг азота [7*] при дозах фосфора и калия 40—50 кг. В этом я мог убедиться при объезде опытных станций Приуралья и Поволжья осенью 1926 г., где по сравнению с навозом, в котором вносилось 150—200 кг азота, действие минеральных удобрений было слабым [8*]. Это дало мне повод написать весной 1927 г. статью «Хроническая погрешность в оценке действий минеральных удобрений», и этот год явился поворотным пунктом в постановке опытов с удобрениями, именно тогда была организована агрохимическим отделом НИУИФ, которым я заведовал, так называемая географическая сеть опытов. Данные этой сети сразу же обнаружили, что в районе подзолистых почв и на сероземах Средней Азии, если брать те дозы азота, какие применяются на Западе, эффект получается такой же, как там (опыты с хлопчатником, льном, картофелем). Мало того, дальше обнаружилось, что и на черноземе технические культуры реагируют на азот

[7*] Как раз эти дозы оказались на бедных почвах самыми невыгодными (см. ниже).

[8*] Между прочим, на Казанской опытной станции мне в такой форме сообщили краткие итоги опытов: «У нас ни по Прянишникову, ни по Дояренко ничего не выходит», т. е. ни минеральные удобрения, ни паровая обработка не помогают, «один навоз действует». Познакомившись с дозами удобрений, я посоветовал повысить количество азота. Через два года, в 1928 г., в Казани происходил очередной Менделеевский съезд, и в докладах по агрохимической секции фигурировали новые данные Казанской станции, в которых действие минеральных удобрений уже не отличалось по размерам от действия навоза.

(как сахарная свекла и конопля), но ясно реагируют на азот и зерновые хлеба, если они не идут после чистых паров.

Все это позволило строить план химической промышленности в крупных масштабах и начать его осуществление в первом пятилетии, а во втором пятилетии к данным НИУИФ присоединились данные ВИУАА [9*], показавшие, что не только на опытных полях, на которых ставились опыты НИУИФ, но и при той агротехнике, которая была достижима уже в 1932—1934 гг. на полях колхозов и совхозов, применение минеральных удобрений дает хорошие результаты. А затем проявившееся с такой силой движение передовиков настолько четко выявило значение удобрений, что теперь вряд ли кто-либо станет утверждать, что мы должны пройти сначала через какие-то другие стадии, прежде чем дожить до применения минеральных удобрений. Характерно, что получение рекордных урожаев передовиками совпало с периодом, когда производство минеральных удобрений у нас приняло крупные размеры.

Исторический опыт развития земледелия в Западной Европе, понятно, должен быть нами учтен, но это вовсе не означает, что нам необходимо, как это думали некоторые, пройти последовательно все те стадии, которые имели там место [10*]. Наша задача состоит в том, чтобы одновременно использовать все возможности, которые имеются в распоряжении планомерно развивающегося социалистического сельского хозяйства, а не копировать рабски какие-то готовые образцы.

Структура азотного баланса в разных странах, азот технический и биологический

Быстрое развитие азотной промышленности после первой мировой войны часто вызывало в неагрономических кругах представление, будто этот фактор оттеснил все другие и преимущественно на нем базируются высокие урожаи в странах с сильно развитой азотной промышленностью. На деле же новые источники (синтетический аммиак, «воздушная» селитра и пр.) нигде не заменяли собой азота клевера и азота навоза, везде они дополняли ранее известные приемы, увеличивая общую сумму азота, вводимого в круговорот хозяйства, и поднимая на еще бо́льшую высоту

9* Всесоюзный научно-исследовательский институт удобрений, агротехники и агропочвоведения.

10* Именно утверждалось, что сначала мы должны ввести травосеяние, пройти через стадию чисто навозного хозяйства, чтобы улучшить физические свойства почвы, и только после этого думать о применении минеральных удобрений («ведь в Англии минеральные удобрения стали применяться через 100 лет после введения травосеяния»). При этом часто неверно излагалась история земледелия в Западной Европе и замалчивался тот факт, что не травопольные, а чисто плодосменные севообороты с одним годом пользования клевером, без тимофеевки, привели на Западе сначала к удвоению урожаев, а затем и к дальнейшему их росту после введения минеральных удобрений.

те урожаи, которые в Западной Европе были уже довольно высокими благодаря клеверосеянию при одновременном применении фосфатов и калийных солей.

Во всех странах Запада и теперь продолжают идти комплексным путем и используют два пути связывания азота воздуха, а именно: *путь технический,* осуществимый с помощью дорогой аппаратуры только в определенных пунктах, где сосредоточены источники энергии (залежи угля, водопады), и *путь биологический*, возможный везде, потому что при нем используется солнечная энергия и не нужно никакой аппаратуры, ее заменяют клевер, люцерна и другие азотособиратели, фиксирующие азот воздуха за счет того же источника энергии, с помощью которого они фиксируют и углерод.

Оба пути разрешения азотного вопроса имеют свои положительные стороны и свои трудности, *они взаимно друг друга дополняют, но друг друга совсем заменить не могут*. Для азота технического характерны: 1) большая быстрота действия в связи с растворимостью и высокой усвояемостью продуктов заводского синтеза (отсюда — возможность высокого темпа в поднятии урожаев); 2) большая транспортабельность, связанная с высоким содержанием азота (например, в синтетической мочевине в 100 раз больше азота, чем в навозе), и возможность переброски по желанию в любой район; 3) возможность гораздо большего насыщения севооборота техническими культурами, чем при отсутствии технического азота (так, мы не могли бы надолго занять такой большой процент площади хлопчатником в Средней Азии, если бы хлопководные районы не снабжались широко азотистыми удобрениями); 4) одновременно крупная азотная промышленность развивается и по иным причинам, кроме сельскохозяйственных,— прежде всего она связана с военной промышленностью.

Но азот технический всегда дороже азота клевера и азота навоза, поэтому даже в странах с высокоразвитой промышленностью не ему принадлежит главная роль в снабжении сельскохозяйственных растений азотом, а азоту биологическому, включая сюда и азот навоза, так как в навоз переходит азот клеверного сена. В сущности биологический путь фиксации азота воздуха является даровым, если все расходы по культуре клевера или люцерны оплачиваются животноводством. Однако при бесспорном преимуществе дешевизны азот биологический имеет свои недостатки по сравнению с азотом техническим — отсутствие транспортабельности и большая медленность действия.

Количественное соотношение между обоими источниками азота, конечно, в разных странах различно, и в принципе оно должно бы зависеть в первую очередь от густоты населения, а именно чем последнее больше, тем больший процент площади приходится занимать пищевыми культурами и тем меньший — кормовыми (а среди последних главная роль принадлежит как раз азотособирателям). В этом отношении наибольшей возможностью расширять площадь под азотособирателями обла-

даем мы (за счет расширения пашни), но и в пределах Западной Европы можно наблюдать значительное различие в рядом лежащих странах. Сравним, например, промышленную Германию с сельскохозяйственной Данией: не только промышленность, но и сельское хозяйство догитлеровской Германии стояли на значительной высоте, гораздо выше, чем во Франции,— в Дании же нет сырья для развития своей промышленности, в ее экспорте первое место занимают продукты животноводства, и Дания считается по преимуществу страной сельскохозяйственной, хотя на деле крестьянство составляет только одну треть всего населения страны. Главное же различие, интересное для нас в данном случае, состоит в том, что Германия имела 133 человека на 1 кв. км, а Дания — 80, и еще сильнее выявится это различие, если мы учтем, что доля посевной площади на одного жителя в Дании достигала одного гектара, а в Германии она составляла лишь около *одной трети гектара* (см. ниже). Сообразно этому мы находим в Дании гораздо бо́льшую долю посевов под клеверными смесями, чем в Германии, отсюда — больше навоза на гектар пашни да еще навоза, более богатого азотом, чем обычно вследствие обильного применения концентрированных кормов импортного происхождения. Германия же, имея высокоразвитую химическую промышленность, применяла в более широком масштабе, чем Дания, в качестве источников азота синтетические продукты (аммиачные соли, цианамид, нитрат кальция). Однако при всей абсолютной высоте продукции азотных заводов все же этот источник азота не занимал доминирующего положения, и в Германии главную роль играло органическое вещество навоза и клевера, как это видно из следующего сопоставления[11*] (см. таблицу).

Баланс азота	В тыс. т		в %			
	Германия	Дания	Германия		Дания	
Вынос азота с урожаями	1775	270,0	100,0		100,0	
Статьи прихода:						
азот технический	400	27,0	22,5		10,0	
азот навоза, включающий часть азота клевера	750	150,0	42,2	56,7	55,5	81,1
азот в корневых остатках бобовых	256	69,1	14,5		25,6	
Дефицит	369	24,0	20,8		8,9	

[11*] Для Германии мы использовали в основе прежний подсчет Löhnis, но с некоторыми поправками в целях приближения его к послеверсальской действительности, а именно количество навоза подсчитано по состоянию животноводства в предкризисный период (Statistisches Jahrbuch f. d. Deutsches Reich); также и для количества азотистых удобрений взяты цифры более свежие, чем у Löhnis; для выноса азота

Следовательно, даже в такой промышленной стране, как Германия, азотная промышленность не покрывала и $^{1}/_{4}$ доли всей потребности в азоте, в более же многоземельной Дании, богатой клеверами,— а потому и навозом,— на технический азот приходилось только 10% суммы азота, уносимого урожаями. Обратное соотношение, конечно, имеет место для азота клеверищ, который в Дании играет гораздо бóльшую роль, но доминирует над всеми и в той и другой стране азот навоза; им покрывается больше половины всего выноса азота в Дании и 42% этого выноса в Германии. Эти подсчеты носят, конечно, очень приблизительный характер [12*], особенно это относится к цифрам дефицита, так как они определены по разности, и всякая неточность по предыдущим статьям отражается здесь. Так, для Дании дефицит в 8,9% лежит, в сущности, в пределах погрешности. Стоит только отразить в цифрах тот факт, что в Дании навоз имеет больше азота, чем считается обычным для некоторого обезличенного среднего: например, взять 0,57% вместо везде принятого 0,5% (что для Дании по ряду соображений весьма вероятно), и тогда дефицит сведется к нулю.

Имеющиеся в литературе подсчеты баланса азота в земледелии Соединенных Штатов Америки также указывают на огромную роль в общем балансе азота биологического. Такой подсчет сделан доктором Липманом, и в этом подсчете имеется попытка большей детализации; в статьи расхода, помимо выноса урожаями, включены потери азота из почвы путем вымывания и эрозии, а в приходной части учитываются такие источники, как азот атмосферных осадков и оросительных вод (см. ниже).

Дефицит, который должен быть отнесен за счет использования азота из основного капитала почвы, составляет 2720 тыс. т азота, или 16,9%. Но так как в статье доктора Липмана [13*] не указано, как высчитаны отдельные слагаемые, то мы не можем считать эти цифры непосредственно сравнимыми с приведенными выше для Германии и Дании. Особенно обращают на себя внимание две цифры — это высокая оценка участия азота навоза в общем балансе (она составляет 56,5% выноса азота урожаями полевых культур) и еще более высокая доля участия фиксации азота другими путями (кроме бобовых). Но если эта цифра вообще трудно определима, то накопление азота бобовыми гораздо легче поддается учету, и интересно, что по этой статье мы находим цифру 900 тыс. т, или почти 20% выноса азота урожаями.

урожаями, а также для азота в корневых остатках клевера взяты цифры Löhnis без изменений.

Для Дании подсчет сделан нами на основании данных сборника «L'agriculture en Danemark» (1930). Для навоза взято среднее содержание азота ввиду трудности сделать поправку на повышенное влияние обильного применения концентрированных кормов в Дании. Азот, приносимый с осадками, нигде не принят во внимание в предположении, что вымывание нитратов из почвы компенсирует этот источник прихода.

[12*] Но при всей их условности они все же отражают главные черты различия в структуре баланса разных стран.

[13*] The Stuff of Life.— Industrial and Engineering Chemistry, v. 27, p. 103, 1935.

Баланс азота в земледелии США (по Липману)
(в тыс. т азота)

Расход		Приход	
Вынос азота урожаями (с площади 146 млн. га)	4600	Вносится с навозом	2600
Вымывание осадками	4000	» с минеральными удобрениями	300
Эрозия (с той же площади)	2500	Приносится с осадками	2750
Вынос азота с лугов и пастбищ (400 млн. га)	3000	» с оросительными водами	30
Вымывание с этой площади	1000	Накопление азота бобовыми	900
Эрозия	1000	Фиксация азота другими путями	6800
Итого	16 100	Итого	13 380

Если допустить условно возможность сравнения отдельных статей прихода и расхода этого подсчета для США с вышеприведенным подсчетом для Дании и Германии и взять только соответствующие рубрики, то получим такой вид упрощенного баланса для США:

вынос азота	4600	тыс.	т,	или	100%
вносится с навозом	2600	»	»	»	56,5%
» с минеральными удобрениями	300	»	»	»	6,5%
фиксация бобовыми	900	»	»	»	19,6%
дефицит	800	»	»	»	17,4%

Как видно, доля технического азота в общем балансе для США получается несколько ниже, чем для Дании и Германии, составляя всего около 6,5% выноса азота урожаями. В сумме же возвращение азота в почву с удобрениями превышает 80% выноса растениями.

Совершенно иную картину дают произведенные нами подсчеты баланса азота в земледелии СССР. Мы остановимся пока на общей характеристике этого баланса в том виде, в каком он фактически складывался в предвоенные годы.

Общий вынос азота урожаями, по подсчетам ВИУАА на 1937 г., выражался у нас приблизительной величиной в 4,9 млн. т (при урожае хлебов около 10 ц, свеклы — 200 ц, картофеля — 115 ц с 1 га и т. д.). Возвращение азота в почву производилось и у нас не только и не столько с минеральными удобрениями, сколько с навозом, с органической массой азотособирателей, с отбросами (фекалии), торфом.

Сколько из этого выноса в 4,9 млн. т азота возвращалось с навозом?

Принимая, что в 1937 г. было вывезено около 200 млн. т навоза, получим 1 млн. т азота. Для корневых остатков клевера и люцерны можем принять, что они оставляли в почве около 200 тыс. т азота (азот надземных частей здесь отдельному учету не подлежит, он вошел уже в состав навоза).

Промышленность в 1937 г. давала тоже около 200 тыс. т азота. За счет использования отбросов (торфофекальные массы) можно допустить возвращение еще около 100 тыс. т азота. Итак, всего возвращалось около 1,5 млн. т, что составляет 30,65% всего выноса (4,9 млн. т), а дефицит равняется 3,4 млн. т, или 69,35%.

Этот дефицит у нас покрывался главным образом за счет запасов азота в почве (нитраты паровых полей, зяблевой вспашки и пр.).

Сравним теперь наш азотный баланс с тем, что имело место в западноевропейских странах, прошедших путь поднятия урожаев от средневекового уровня (7 ц с 1 га) до современного (22—28 ц с 1 га), и в США.

Азотный баланс в разных странах

Баланс азота	СССР (1937)		Германия	Дания	США
	в млн. т	в %	в %		
Вынос азота урожаями	4,9	100,00	100,0	100,0	100,0
Возвращение:					
навоз (и отбросы)	1,1	22,45	42,2	55,5	56,5
промышленность	0,2	4,10	22,5	10,0	6,5
клеверища	0,2	4,10	14,5	25,6	19,6
Всего возвращалось	1,5	30,65	79,2	91,1	82,6
Дефицит	3,4	69,35	20,8	8,9	17,4

Из этого сопоставления видно, что характерная черта нашего азотного баланса состоит в наличии гораздо большего дефицита, достигающего почти 70%, тогда как страны Запада имели дефицит азота гораздо меньший, лежащий в пределах от 9 до 21%.

Чем же покрывался этот относительный дефицит по азоту на Западе, где паровые поля исчезли и ставка на истощение почвы стала несовместимой с задачей устойчивого поднятия урожаев? Немецкий микробиолог Лёнис был склонен приписывать здесь главную роль деятельности свободноживущих (не клубеньковых) бактерий, из которых наиболее распространен в культурных почвах азотобактер, но размер фиксации азота этим путем учесть не легко. Частью в эту же рубрику попадают некоторые не вполне учтенные источники азота, как азот отбросов — компо-

сты и пр., или часть азота, приносимого атмосферными осадками (если предположить, что вымывание нитратов теми же осадками не вполне парализует эту статью прихода, когда почва занята растениями, корни которых энергично поглощают нитраты).

Во всяком случае факт, что при таком размере дефицита, который имеет место в Германии и Дании, он покрывался не за счет истощения почвы, так как там урожаи не только не обнаруживали падения, но, наоборот, были гораздо выше, чем 40—50 лет тому назад. Значит, дефицит азота в размере 20—21% (или в абсолютных цифрах для Германии — 13—14 кг на 1 га), при данном способе подсчета, ничего опасного не представляет; это обстоятельство мы учтем дальше, при построении нашего азотного баланса на будущее.

Далее, как уже было отмечено, даже в странах с сильно развитой промышленностью азотная промышленность вовсе не играла роль главного поставщика азота. Главная роль принадлежала азоту биологическому, т. е. азоту навоза, включающему азот надземных частей клевера, и азоту корневых остатков клевера. В Дании эти два источника, взятые в сумме, покрывали 81% выноса азота урожаями, а в Германии — 56,7%. Мы же, обладая наибольшим земельным простором, совершенно недостаточно пока использовали широкую возможность расширения посевов клевера и люцерны, как это видно из следующего сопоставления (см. таблицу).

Страна	Посевная площадь под азотособирателями (в %)	Площадь всей земли на 1 жителя (в га)	Посевная площадь (в га)	
			на 1 душу всего населения	на 1 душу сельского населения
Германия	10	0,74	0,30	1,3
Франция	20	1,35	0,53	1,3
Дания	32	1,25	0,90	3,0
СССР	4	14,0 *	0,80	1,2

* Если отнести 50% площади на неудобные земли (пустыни, тундры, горные цепи, ледники), то все-таки удобной площади приходится по 7,1 га на жителя.

В то время как даже промышленная Германия, страдавшая от недостатка площади для снабжения себя необходимым сельскохозяйственным сырьем, все-таки отводила 10% площади под азотособиратели, у нас на них приходится лишь 4% всей посевной площади [14*].

Промышленность, как уже было сказано, покрывала в Дании 10%, в Германии — 22,5% всего выноса азота. И это понятно, если принять во

[14*] Заметим, что эта цифра не стабильна, в отдельные годы процент площади под клевером опускался еще ниже, а с введением правильных севооборотов он должен сильно возрасти.

внимание, что промышленность Германии, так же как в США и у нас, имела дело с производством 200—400 тыс. т азота, а вынос азота с урожаями измеряется миллионами тонн.

Но возвратимся к азотному балансу СССР. Как мы видели, главной статьей в нем являлось использование азота черноземных почв, которые на юго-востоке пока еще допускают хозяйство с отрицательным азотным балансом, но в районах старой культуры (северная часть Украины, Курская, Воронежская области) и чернозем уже требует возвращения взятых питательных веществ. Это показывает, что нельзя утешаться предположениями относительно того, что большая часть огромного дефицита в 69% покрывается работой азотобактера, и такая структура земледелия, при которой только 31% азота возвращается почве, не может гарантировать поднятия урожаев.

Если бы даже сделать невероятное предположение, что наши урожаи были основаны не на постепенном истощении чернозема, а целиком на работе азотобактера, то это была бы только некоторая равновесная система, а не путь к повышению урожаев. Если же мы хотим вместо 5 млрд. пудов зерна иметь 7—8 и соответственно повысить урожаи технических культур, то это связано с увеличением выноса азота на 50—60%, а чтобы повысить вынос азота на 2,5 млн. т, нужно дать в удобрениях (и в клевере) значительно больше.

Правда, на первое время некоторое поднятие урожая озимых возможно в черноземной полосе за счет лучшего использования азота ранних паров путем внесения фосфатов, но длительно нельзя систематически брать взаймы у почвы азот, ничего не отдавая ей; а кроме того, этим не решается вопрос для яровых культур, особенно технических. Поэтому *необходимо увеличить приход азота как по линии азотной промышленности, так и сильно расширяя культуру азотособирателей.*

Резко выраженный дефицитный характер нашего баланса между выносом питательных веществ с урожаями и возвращением их с удобрениями, когда большая часть выноса возмещается не за счет удобрения, а за счет уменьшения запаса питательных веществ в почве,— несовместим с задачей регулярного поднятия наших урожаев. У нас еще [в 1937 г.] недостаточно учитывается, насколько земледелие отстало от промышленности в темпах своей реорганизации, оно лишь по-иному ведет внешние механические процессы, но внутренний процесс круговорота веществ в земледелии сохранил еще старые, дореволюционные черты: попрежнему большая часть потребляемых растениями и уносимых с урожаем питательных веществ не возвращается с удобрениями и урожай получается в главной своей части за счет почвы, тогда как страны Запада, чтобы поднять свои урожаи втрое и вчетверо против средневековых, давно должны были перестроить свой азотный баланс и возмещать вынос азота с урожаями на 80% (а фосфора на 100% и более).

Во всяком случае, из рассмотрения структуры азотного баланса ясно видно, что для систематического повышения урожая, обеспечения его

устойчивости и поднятия плодородия наших почв надо добиваться резкого изменения этого баланса в направлении увеличения приходной части, что необходимо как для снижения современной дефицитности баланса азота, так и для покрытия более высокого выноса азота будущими урожаями.

Задачи и перспективы улучшения баланса азота в земледелии СССР

Переходя от анализа фактического состояния баланса азота к вопросу о перспективах его улучшения в дальнейшем, нам надо прежде всего сделать попытку хотя бы приблизительного определения размеров выноса азота урожаями. Можно ли ставить вопрос так, что мы должны поставить заданием получение среднего урожая с гектара, равного или превышающего средний урожай в странах Западной Европы?

На этот вопрос надо ответить отрицательно, эту задачу нельзя решать путем механического сопоставления урожаев и, например, ставить задачей — догнать Голландию и Данию по высоте урожаев (30 ц с 1 га) в среднем для всей страны. Нам нужен *свой* подход к определению высоты урожаев в связи с установлением размера посевной площади.

Конечно, не только урожай с гектара, но также и посевная площадь является фактором, от которого зависит размер снабжения страны сельскохозяйственными продуктами. Достаточно следующего сопоставления, чтобы показать, что урожай с гектара может еще мало говорить о размерах этого снабжения (см. ниже).

Страны с недостатком хлеба	Средние урожаи за 1930—1934 гг.		
	урожай пшеницы (в ц/га)	страны с избытком хлеба	урожай зерновых (в ц/га)
Голландия	29,1	Аргентина	8,7
Англия	22,5	Канада	11,8
Германия	21,1	США	10,9

В общем можно сказать, что наиболее высокие урожаи с гектара свойственны густонаселенным малоземельным странам, ввозящим хлеб, а страны, располагающие избытками хлеба и вывозящие, имеют гораздо меньшие урожаи на гектар, но располагают земельным простором и значительными размерами посевной площади на душу населения.

Для нас широко открыты оба пути повышения валовой продукции, и в отличие от Западной Европы мы можем свободно маневрировать и тем, и другим фактором поднятия нашей продукции, так как наша посевная площадь составляет только 7—8% общей площади СССР, или

около 15% пригодной для земледелия площади, если исключить из подсчета те 50%, которые заняты тундрами, пустынями, скалами и глетчерами.

Подсчет валовой продукции, являющейся произведением высоты урожаев на размер посевной площади, всегда должен заканчиваться определением отношения этой продукции к числу душ населения. Это часто забывали делать, особенно в дореволюционное время, увлекаясь громадной цифрой валового сбора («Европу шапками закидаем»), вместо того чтобы рассчитать, что́ получается в итоге по расчету на душу населения. А между тем этот расчет показывает, что в так называемые благоприятные годы, когда Россия вывозила хлеб за границу, она производила его на деле не больше, чем многие из стран Запада, ввозивших наш хлеб, что показывает следующее сопоставление для периода 1908—1913 гг.:

Продукция зерна (всех видов) на душу населения
(в ц)

Россия	4,0	экспортер	США	10,3	экспортеры
Франция	4,3	импортеры	Аргентина	10,0	экспортеры
Германия	4,6	импортеры	Канада	19,0	экспортеры
Швеция	5,0	импортеры			
Дания	7,0	импортеры			

Известно, что возможность экспорта из России зависела только от того, что русское крестьянство поневоле вегетарианствовало и воздерживалось от откорма свиней, в то время как Германия и Дания на нашем хлебе широко практиковали этот откорм.

Какой же размер продукции на душу населения желателен для нас? Остановимся на зерновой продукции.

Мы будем исходить из предположения, что в основу должно быть положено широкое удовлетворение потребности возрастающего населения Союза в продовольственном и кормовом зерне, с необходимым учетом отклонений урожаев от среднего в зависимости от непостоянства климатических факторов, но что развитие хлебного экспорта не является нашей прямой задачей[15*]. Поэтому поставим задание — иметь в среднем по 8 ц зерна всякого рода на душу населения, тогда в нормальные годы будем иметь 4 ц зерна для откорма животных, кроме твердо гарантированного минимума 4 ц продовольственного зерна по расчету на каждого жителя. Конечно, границы между пищевым и кормовым зерном не строги: зерно пищевого значения, как, например, рожь, при ее избытке становится кормовым, а кормовое зерно при неурожае становится пищевым (ячмень, кукуруза, овес),— все дело в количестве. Но цифра 8 ц вдвое

[15*] Опыт Дании и Америки показал, что в случае избытков хлеба в стране выгоднее вывозить не самый хлеб, а получаемые с помощью хлеба продукты животноводства, как масло, яйца и бекон.

превышает дореволюционный уровень нашей продукции на душу населения, причем она находится между цифрой продукции Дании (самой высокой в Европе) —7 ц зерна на душу — и продукции США. Хотя Дания числится в списке импортеров, но по существу она является экспортером; раньше она попросту вывозила хлеб, а затем нашла, что таким дешевым товаром торговать не стоит, и стала превращать хлеб в бекон, масло и яйца, а затем еще и прикупать чужой хлеб для этой же цели. Поэтому датский масштаб урожайности на душу населения является хорошим, но в Дании очень устойчивый климат, а нам нужна еще страховка на случай неурожаев от колебаний климата. С другой стороны, США, с их продукцией 9—10 ц на душу, могли широко заниматься и откормом животных, и экспортировать хлеб в Европу. Предположенный нами средний уровень в 8 ц на душу[16*] включает страхование на годы исключительной засухи, когда откорм свиней должен сокращаться, а в годы средние — и тем более благоприятные — позволит или увеличивать экспорт хлеба, если это будет нужно, или обращать эти избытки на техническую переработку и усиленное производство продуктов животноводства, выдерживающих долгое хранение (сыр, окорока, копченая колбаса и пр.).

Если допустить, что вместо 185 млн., по данным переписи 1939 г., в Союзе ССР будет 230 млн. душ населения, то всего, по принятому нами масштабу, потребуется зерна 184 млн. т. Какому урожаю с гектара это должно отвечать? Для ответа на этот вопрос надо иметь в виду следующее[17*].

Поднять валовую продукцию до 184 млн. т можно тремя путями.

1. Получить на теперешней площади зерновых посевов (около 110 млн. га) повышенный урожай в 16 ц с 1 га в среднем без расширения посевной площади.

2. Увеличить площадь под зерновыми при меньшем размере урожая, например до 130 млн. га при 14 ц урожая.

3. Расширение посевной площади использовать не ради посева хлебов, а для увеличения посева клевера и других азотособирателей, чтобы, развивая животноводство, иметь больше навоза и поднять урожай хлебов при прежней площади их посевов (около 110 млн. га).

[16*] Этот уровень отвечает (если учесть размеры нашего населения в 1939 г.) заданию получать 8 млрд. пудов зерна. Конечно, это ближайшая задача, а затем надо будет и дальше повышать производство зерна, имея в виду не только возрастание прямого потребления зерна в целях продовольственных, но и необходимость сильного увеличения производства зерна для кормовых целей.

Если в урожайный год на экспорт будет обращен избыток зерна 2 ц на душу населения, то это составит свыше 40 млн. т, что в 4 раза превышает максимальные размеры экспорта до революции.

[17*] Производство зерна в 1973—1974 гг. превысило 195 млн. т при численности населения 253 млн. человек на 1. I 1975 г. (Сообщение ЦСУ СССР.— Известия № 21 от 24. I 1975 г.) — *Прим. сост.*

Разберем эти три случая порознь.

Вследствие малого процента площади под азотособирателями и соответственно меньшей навозообеспеченности, при задании получить средний урожай зерновых в 16 ц с 1 га на прежней площади (вариант 1), нам пришлось бы большое количество минеральных удобрений направить под хлеба, с тем чтобы компенсировать недостаток азота и других питательных веществ, обусловливаемый неполнотой вывозки навоза и слишком малой ролью клевера и других бобовых в азотном балансе. Но применение минеральных удобрений под хлеба в широком масштабе проектировать трудно *по двум причинам*: а) площадь технических и других интенсивных культур у нас превышает всю посевную площадь Германии (приблизительно 20 млн. га), а пока эти культуры не обслужены химической промышленностью, хлеба не могут получить значительных количеств минеральных удобрений; б) минеральные удобрения (по крайней мере самые активные из них — азотистые удобрения) могут быть применены в широком масштабе под хлеба при условии соответствующего координирования цен на зерно и удобрения.

Поэтому первый из трех отмеченных выше вариантов оказывается наименее пригодным — таким путем нам идти нельзя.

Второй путь означал бы возможность обойтись без минеральных удобрений под хлеба, по крайней мере без азотистых; но при прежней установке на работу лошади и (вола) он встречал бы меньше возражений, чем при установке на трактор, при котором необходим ежегодно добавочный расход на горючее и транспорт горючего, трудный как раз в районах наибольшей возможности расширения пашни (Сибирь).

Третий вариант освобождает от ежегодного увеличения работы тракторов, так как расширение площади на 25—35%, необходимое для посева трав, требует только *один* раз (при освоении новых площадей) увеличения вспахиваемой площади, ежегодной же вспашки площадь под травами не требует. Дальнейшая разработка этого варианта должна быть увязана *с проблемой развития животноводства.* Этот вариант заслуживает наибольшего внимания, но возможны комбинации этого варианта с частичным использованием второго варианта.

Резюмируя все сказанное, мы приходим к выводу, что в основном нам надо идти по пути увеличения продукции зерна за счет поднятия урожаев зерновых культур до уровня примерно 16 ц с 1 га и в меньшей степени использовать — в ближайшее время — для этой цели увеличение посевной площади под зерновыми. *Общее же расширение пашни должно дать возможность в первую очередь увеличить у нас процент площади под клевером и другими азотособирателями без снижения площади под зерновыми культурами*, продукция которых должна быть значительно повышена, главным образом за счет поднятия урожайности.

Что касается технических культур, картофеля, овощных и плодовых, то, понятно, здесь предстоит широко использовать оба пути — и расширение посевных площадей, и резкое поднятие урожайности, причем здесь

огромная роль будет принадлежать как органическим, так и минеральным удобрениям [18*].

Как же будет возрастать общий вынос питательных веществ урожаями *при таком направлении развития нашего земледелия*? Понятно, что при этом пути будет значительно изменяться соотношение в выносе азота, с одной стороны, и фосфора и калия — с другой, так как вынос фосфора и калия будет возрастать вследствие как увеличения урожая, так и роста посевных площадей. Повышение процента площади под клевером, люцерной и другими бобовыми будет, в свою очередь, увеличивать вынос фосфора и калия, так как эти растения берут из почвы больше зольных веществ, чем зерновые. Что же касается азота, то здесь главным фактором, обусловливающим увеличение выноса, будет повышение урожаев зерновых и технических культур, так как если расширение общих размеров пашни будет преимущественно использоваться для увеличения площади под азотособирателями, то вынос азота из почвы от этого не возрастет, и увеличение его будет обусловлено только ростом урожайности [4].

Если исходить из цифры 4,9 млн. т азота, отвечающей общему выносу урожаями по уровню 1937 г., и допустить пропорциональное увеличение выноса азота при повышении среднего урожая зерновых до 16 ц с 1 га, то получим 7,84 млн. т ежегодного выноса азота. Более подробные расчеты, проделанные в ВИУАА научным сотрудником М. Курашевой, дают несколько более высокую величину, равную 8,2 млн. т азота. При этих расчетах предполагалось доведение площади под зерновыми до 115 млн. га при средней урожайности 16 ц с 1 га; под сахарной свеклой — до 1,7 млн. га при урожае 270 ц с 1 га; под картофелем — 10,7 млн. га при урожае 150 ц с 1 га. По другим культурам уровень урожаев был взят такой: хлопчатник — 22 ц сырца, лен — 5—6 ц волокна, подсолнечник — 15 ц, табак — 14 ц, кок-сагыз — 100 ц с 1 га и т. д.

Таким образом, получается, что для повышения производства сельскохозяйственной продукции *необходимо обеспечить возможность ежегодного суммарного выноса азота урожаями до уровня около 8,2 млн. т*, т. е. на

[18*] Необходимость поднятия урожаев обусловлена еще и тем, что при низких урожаях мы тратим по крайней мере двойной труд на механическую обработку — предпосевную вспашку и уход во время роста (если подсчитать этот труд не на гектар, а на единицу получаемого продукта). Так, например, для получения того же самого количества картофеля мы обрабатываем и окучиваем вдвое или даже втрое бóльшую площадь, чем в Западной Европе, потому, что урожай картофеля у нас вдвое ниже. И чем больше затрат на обработку и уход за растениями во время роста (как в случае культуры свеклы, хлопчатника, табака), тем более невыгодно работать на фоне таких низких урожаев, какие мы имели до сих пор, тем более применение удобрений повышает оплату единицы труда, затраченного на механическую обработку.

Поэтому поднятие урожаев является нашей первоочередной задачей, а расширение посевной площади, связанное с некоторым перемещением зерновых посевов к северу, является вторым нашим резервом.

3 с лишним млн. т выше, чем в 1937 г. Понятно, что эта задача может быть удовлетворительно разрешена нами *только при условии максимального использования всех ресурсов для повышения приходной части азотного баланса,* так как ни одна статья этого прихода в отдельности не может обеспечить покрытие таких размеров прироста выноса азота.

Обратимся теперь к рассмотрению тех путей, которыми нам предстоит идти при разрешении этой грандиозной задачи.

Остановимся прежде всего на азоте техническом. Эта статья азотного баланса наиболее тесно связана с общим уровнем технической мощи страны, ее индустриализацией, а также и с военным потенциалом страны. Химизация земледелия, как и его механизация, тесно связана с задачами обороны страны: трактор и танк, аммиачная селитра и аммонал, нитраты и нитроглицерин — одни и те же производства лежат в их основе. И только та страна, которая в мирное время сумеет создать ряд таких отраслей промышленности на базе хозяйственного расчета, может быть всегда готовой к обороне.

В этом отношении существует полная противоположность между положением старой России, вступившей в войну 1914 г. совершенно неподготовленной, и современным положением Советского Союза. Только во время пятилеток у нас была начата химизация земледелия.

Чтобы оценить размер достижений в области интенсификации земледелия, которые дали Союзу ССР пятилетки, необходимо, хотя бы в очень краткой форме, остановиться на дореволюционном прошлом нашей страны.

Хотя прежнюю Россию в Европе называли страной земледельческой, однако на деле это была страна очень плохого земледелия; с некоторым оправданием относительно уместности этого названия может быть только то, что с промышленностью дело обстояло еще хуже — ее почти не было, а потому и приходилось такую страну называть земледельческой. Прежняя Россия имела очень низкие урожаи — 7 ц с 1 га, что отвечает уровню XVIII столетия для Германии и еще более отдаленным временам для Бельгии и Голландии. Но, кроме того, вследствие малой распаханности площади и избытка сельского населения на одного жителя деревни приходилось лишь 0,9 га посевной площади (против 3 га в Дании и 5 га в США); поэтому и общая продукция зерна в стране была низкой. Как мы видели, она для периода 1908—1913 гг. достигала всего 4 ц зерна на душу, в то время как Германия имела 4,6 ц, Дания — 7, США — 10,3 и Канада — 19 ц всех видов зерна на душу населения.

К этому присоединялась еще большая неустойчивость урожаев вследствие того, что при малом проценте пашни в лесной полосе (с более постоянным климатом) сильно распаханы были степи с неустойчивым климатом, отсюда периодические голодовки в годы засухи. Но, как страна полуколониальная, зависящая от Западной Европы вследствие отсутствия своей промышленности, Россия должна была вывозить хлеб, а возможно это было, как уже указывалось, только благодаря вынужденному

вегетарианству русского крестьянина. Нетрудно подсчитать, что если бы крестьянин того времени вздумал поднять свое мясное довольствие до того, чтобы дать хотя бы по одному фунту свинины на каждого члена семьи раз в неделю, то при 125 млн. крестьянства для этого потребовалось бы скормить свиньям около 12 млн. т зерна, что с избытком поглотило бы весь дореволюционный экспорт. Этого крестьянин сделать не мог, поэтому русской рожью, ячменем и отрубями откармливались свиньи в Дании и Германии, а не в России.

Не останавливаясь на периоде разрухи, вызванной первой мировой войной и последовавшей за ней гражданской войной и интервенцией, а также и на периоде восстановительном, перейдем к периоду реконструкции и индустриализации сельского хозяйства.

Еще до 1930 г. были усилены работы геологов по выявлению запасов не только угля и металлов, но и сырья для туковой промышленности, приведшие к двум открытиям чрезвычайной важности, а именно в 1925 г. открыты залежи калийных солей в Соликамске, а исследования последующих лет показали, что они не имеют еще себе равных по мощности во всем мире; в 1926 г. открыты были залежи апатита в Хибинских горах, на Кольском полуострове, и работы последующих лет показали, что и здесь идет дело о залежах исключительной мощности. Точно так же были выявлены запасы каменного угля в гораздо большем масштабе, чем это было известно раньше.

Так, выяснилось, что в одном только Кузнецком бассейне запасы угля равны сумме запасов Германии, Англии и Франции; так же велики оказались и резервы гидроэнергии; например, одна только система Ангары и Байкала способна дать в 20 раз больше энергии, чем Днепрогэс.

Так были обеспечены запасы сырья и энергии, необходимые для создания фосфатной, калийной и азотной промышленности. Первое пятилетие (1928—1932) пошло на более тщательные горнотехнические разведки, затем последовала проходка шахт в особенно трудных условиях Соликамска, потом — создание рудников и оборудование комбинатов, а со второй пятилетки началась усиленная продукция туков, которая с каждым годом возрастала.

Темп роста производства туков за второе пятилетие можно характеризовать следующими цифрами (в тыс. т):

	Азотистые удобрения (20,5%)	Калийные соли (41% K_2O)	Суперфосфат (18%)	Фосфоритная мука *	Всего
1932 г. (I)	22,2	27,0	477,6	396,0	922,8
1937 г. (II)	659,0	407,6	1454,1	634,2	3154,9
Отношение (II:I)	29,7	15,1	3,05	1,6	3,4

* Здесь разумеется та часть фосфоритной муки, которая идет на непосредственное удобрение кислых почв (сверх той части фосфоритной муки и апатита, которые идут на приготовление суперфосфата).

Если принять во внимание, что суперфосфат, производимый в СССР, содержит больший процент P_2O_5, чем в остальных странах, и если сделать приведение к одному стандарту, то окажется, что по производству суперфосфата (1897 тыс. т в 1938 г.) СССР вышел на первое место в Европе и на второе место на земном шаре (первое место принадлежит США), а по общему количеству производимых туков вместо последнего места — до начала пятилеток — мы вышли на третье место в Европе и на четвертое на земном шаре (в миллионах тонн):

Германия	США	Франция	СССР	Италия	Англия
7,66	4,78	4,35	3,86	2,05	2,00

Уже во второе пятилетие применение минеральных удобрений оказало резкое влияние на повышение урожая тех культур, которые получали их в достаточном количестве. Так, для урожаев хлопка-сырца при культуре с орошением в Узбекистане мы имеем такую картину последовательного роста урожая параллельно с ростом завоза удобрений [19*]:

	Годы						
	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939
Количество минеральных удобрений (в ц/га)	0,15	1,66	2,70	5,10	5,64	5,32	5,66
Средний урожай хлопка-сырца (в ц/га)	8,9	7,9	11,6	16,2	16,1	16,8	17,0

Таким образом, для целой республики мы наблюдаем *удвоение* урожаев за пятилетие (1934—1939), а в отдельных колхозах получались урожаи 35 ц с 1 га, что означает повышение урожайности в 5 раз, не говоря уже об урожаях, получаемых отдельными стахановцами,— цифры эти намного выше.

Такую же картину мы наблюдаем в Грузии для сбора чайного листа, который более чем удвоился под влиянием минеральных удобрений, среди которых азотистые дают наибольший эффект (среднее за трехлетие).

	Годы		
	1932—1934	1935—1937	1938—1940
Завоз удобрений (в тыс. т)	1,3	28	51
Сбор чайного листа (в кг/га)	891	1681	2252

Кроме хлопчатника и чая повышены также урожаи сахарной свеклы и льна (на волокно), хотя и не в той степени, так как количество минеральных удобрений на гектар здесь дается меньше; в севооборотах большую роль играет клевер и роль навоза гораздо больше, чем в севооборотах с хлопчатником.

[19*] Преимущественно азотистых и фосфорнокислых (калийных солей применялось немного).

Интересную картину представляет движение урожаев сахарной свеклы в Киргизии, где применение минеральных удобрений дает больший эффект, чем на Украине, так как там благодаря орошению количество осадков не является лимитирующим фактором. Вот средние урожаи для Кантского района (передового в Киргизии):

	Годы			
	1934	1936	1938	1940
Количество удобрений (в ц/га)	3,5	8,2	11,9	14,5
Урожай корней (в ц/га)	166	345	349	471

Для оценки значения, какое приобрели минеральные удобрения к началу третьего пятилетия, может служить следующий подсчет профессора П. А. Баранова: если взять сумму приростов лишь по четырем отраслям (хлопок, сахар, чай и волокно льна), полученных в 1939 г. от минеральных удобрений, то по продажным ценам стоимость этих приростов только по названным культурам составляла 4 млрд. руб., стоимость же всех минеральных удобрений равнялась 600 млн. руб.

По плану на 1945 г. общая продукция туковой промышленности должна была удвоиться (по сравнению с 1937 г.), тогда и ценность прироста урожаев по всем культурам достигла бы 9 млрд. руб.

Так как до полного насыщения удобрениями площадей под техническими культурами еще очень далеко, то крупный прирост стоимости продукции технических культур под влиянием удобрений обеспечен для ряда пятилетий.

При удобрении технических культур в ряде случаев мы уже догоняем и даже перегоняем страны Западной Европы по количеству удобрений, вносимых на гектар. Это относится к орошаемому хозяйству Средней Азии и к влажным субтропикам, где мы ограничены размером площади и поэтому решающее значение приобретает высота урожая.

В Узбекистане, где ведется орошаемое хозяйство с преобладанием хлопковых посевов, количество удобрений [20*] на гектар собственно хлопчатника составляет 106 кг NPK, что значительно выше средней германской нормы и близко к средней цифре для Голландии (109 кг), которая занимает первое место в мире по количеству удобрений, приходящихся па гектар всей посевной площади. Чайные плантации Грузии получают около тонны удобрений на гектар (196 кг NPK), что уже превышает среднюю цифру для Голландии, но, конечно, для Грузии в данном случае мы берем только площадь под чайным кустом, который возделывается вне севооборота, соответственная же цифра для Голландии представляет среднее для всей посевной площади. С такой же оговоркой можно указать, что свекловичные плантации на Украине получали по 8 ц удобрений на гектар (или 150 кг $N+P_2O_5+K_2O$).

[20*] Здесь имеется в виду тот уровень, который был достигнут в предвоенные годы.

Итак, к техническим растениям мы применяем путь интенсивной культуры, догоняя или даже перегоняя Бельгию и Голландию по количеству минеральных удобрений на гектар, но это не значит, что тот же метод нам придется применить к культуре зерновых хлебов, где мы площадью не ограничены,— тут нужен совершенно другой подход.

То, что годится для избранных культур, вовсе не относится ко всем культурам, ко всей посевной площади СССР,— тут мы не должны стремиться к голландской норме по количеству минеральных удобрений на гектар, но должны быть впереди всех стран Запада по количеству зерна и других сельскохозяйственных продуктов на душу населения, используя то, чего нет у Голландии, Бельгии, т. е. наш земельный простор. Ведь нельзя же сравнивать СССР с Голландией, которая вся укладывается в одной климатической и почвенной зоне, в одних экономических условиях, имеет густое население и не имеет никакой возможности увеличить запашку, кроме отнятия у моря малых площадей очень дорогой ценой. Советский Союз охватывает весьма разнообразные зоны, отличающиеся не только в климатическом и почвенном отношении, но и по густоте населения, а главное, мы располагаем большим резервом нераспаханных площадей. Поэтому мы можем кроме поднятия урожаев увеличивать валовой сбор хлеба путем расширения культурной площади вообще и площади под клеверами в частности, чтобы действием клевера как прямо на почву, так и через навоз поднять урожаи хлебов без применения под них больших количеств минеральных удобрений [21*].

О перспективах производства и применения минеральных азотистых удобрений

Какие же возможности имеются у нас для дальнейшего увеличения размеров снабжения сельского хозяйства минеральными азотистыми удобрениями? Следует заметить, что усилия, предпринятые во время войны

[21*] Сказанное относится к общей схеме распределения минеральных удобрений между техническими культурами и хлебами. Но при том разнообразии естественных и хозяйственных условий, которое имеет место в нашей стране, понятно, не должно быть шаблона. В частности, уже и теперь своевременно поставить вопрос о перспективе постепенного перехода к следующей ступени в отношении интенсивности химизации нашего земледелия, а именно к применению минеральных удобрений не только под технические, но на какой-то части площади и под хлеба и другие продовольственные (и кормовые) культуры. При этом представляется важным правильный выбор тех условий, когда это мероприятие будет давать максимальный технический и экономический эффект. Прежде всего здесь можно наметить создание крупных очагов высокохимизированного земледелия в областях и районах расположения промышленных центров и в зонах, прилегающих к транспортным артериям. Резкое поднятие урожайности всех культур путем интенсивной химизации в этих районах (при наличии благоприятных почвенных и климатических условий) может быть важной мерой в деле улучшения снабжения промышленных центров и одновременно облегчения транспорта.

для обеспечения нужд военной промышленности (перебазирование части азотной промышленности на восток, введение в действие новых мощностей), окажут положительное влияние на общее количество азотистых удобрений, отпускаемых сельскому хозяйству.

Надо полагать, что восстановление предприятий химической промышленности на территории пострадавших от фашистской оккупации районов не будет требовать какого-либо сокращения мощностей тех заводов, которые возникли на востоке во время войны, так как они получат новое оборудование. Но, кроме того, потребуется строительство и в новых пунктах, причем необходимо будет учесть и наиболее рациональное размещение этого вида промышленности и правильно разрешить вопрос о направлении производства в отношении выбора основных путей синтеза и ассортимента выпускаемой продукции.

При размещении центров производства азотистых удобрений и определении их мощности вопрос о сырье не играет роли — содержание азота в воздухе одно и то же везде; вопрос решается наличием источников энергии — черного и белого угля (сила ветра пока еще не использована для этой цели).

По запасам угля Советский Союз занимает очень благоприятное положение, что обнаружено лишь в послереволюционное время: в 1913 г. наши запасы оценивались в 220 млрд. т, теперь же они определяются в 1654 млрд. т, что в 2,5 раза превышает сумму запасов угля в странах Западной Европы.

В европейской части Союза наиболее крупные запасы угля имеются на юге, в Донбассе — около 90 млрд. т, на севере — в бассейне р. Печоры, куда во время войны была проложена железнодорожная магистраль. Но наиболее богата углем Сибирь (считая от Урала до Тихого океана), на нее приходится около 90% всех наших угольных запасов; один только Кузнецкий бассейн имеет запасы около 450 млрд. т, что в 5 раз превышает запасы Донбасса и почти равняется сумме запасов Германии, Англии и Франции (480 млрд. т). Известно, что, помимо снабжения местной промышленности, как азотный завод в Кемерове и ряд других предприятий, кузнецким углем снабжается крупнейший металлургический завод Южного Урала (Магнитогорск), а железная руда Магнитной горы при обратном движении поездов доставляется в Кузбасс на симметрично построенный комбинат. Так как коксование кузнецкого угля ведется частью на месте, частью в Магнитогорске, то и тут и там имеются широкие возможности для создания заводов синтетического аммиака.

При всей грандиозности Кузнецкий бассейн все же не занимает первого места в Сибири по запасам угля, так как еще бóльшие перспективы намечаются для Тунгусского бассейна, занимающего колоссальную площадь (около 1 млн. кв. км).

Но использование этих угольных богатств есть дело будущего; то же относится и к углю на Таймыре, к Ленскому бассейну в Якутии (не менее 200 млрд. т) и к северо-восточной части Арктики. Теперь же эксплуати-

руются залежи более южных районов Сибири, как Канский, Чулымо-Енисейский, Минусинский бассейны, таков Иркутский бассейн с запасом угля 73 млрд. т (используется Черемховское месторождение). Далее, большое значение имеет Буреинский угольный бассейн в Приамурье и Сучанский район, снабжающий углем Приморье, кроме того, есть уголь на Сахалине и Камчатке. В Средней Азии Казахстан обладает таким мощным месторождением, как Караганда, с запасом 52 млрд. т: имеется также уголь, хотя и в меньшем количестве, в Киргизии, Узбекистане и в Туркмении.

Запасы «белого угля» у нас также огромны: если теперь на очереди «Большая Волга», то затем предстоит освоение громадных энергетических ресурсов Ангары, Енисея и других рек Сибири. Однако использование гидроэнергии в этих масштабах выходит за пределы четвертого пятилетия, пока же можно использовать залежи угля. И тут, так же как и в вопросе о фосфоре и калии, помимо общих запасов, важным является вопрос о наиболее выгодном географическом размещении той небольшой части всех имеющихся запасов, которая доступна для непосредственного использования теперь же.

Еще недавно недостаточная изученность распределения и частью недостаточное освоение известных угольных месторождений вызывали такое ненормальное явление, как транспорт азотистых удобрений на расстояние 3—4 тыс. км. Хлопковые районы Средней Азии являются нашим главным потребителем этих удобрений, так как сероземы по природе бедны азотом, а площадь возможной культуры хлопчатника ограничена температурными условиями и — в еще большей мере — невозможностью культуры хлопчатника без орошения. Все это создает как бы оазисный тип этой культуры, при котором нельзя отвести значительные площади под кормовые растения, и отсюда недостаток навоза и необходимость применять больше азотистых удобрений, чем при культуре свеклы или льна. Но азотные заводы работали у нас далеко от хлопковых районов на Кизеловском, Подмосковном и Донецком угле; в Узбекистане же раньше не было известно залежей хорошо коксующегося угля. Отсюда возникло строительство Чирчикского комбината (близ Ташкента), который использует водяную энергию для получения тока, с тем чтобы добывать водород путем электролиза воды; азот получается путем фракционированной перегонки жидкого воздуха. Этот способ применяется только поневоле в странах, не имеющих угля и богатых водопадами, так как при нем очень велика затрата энергии на единицу связанного азота; а именно, по данным Казале, нужно по крайней мере 18 киловатт-часов на 1 кг связанного азота, в то время как при работе на каменном угле по способу Габера расходуется лишь 4—4,5 киловатт-часа.

Понятно поэтому, почему Германия, Франция и Англия, имеющие уголь, совершенно не применяют метода Казале; применяется же он только в Италии и Норвегии, не имеющих своего угля, и потому эти последние вынуждены тратить в 4—5 раз больше энергии на связыва-

ние единицы азота, чем страны, имеющие уголь. Правда, говорили, что гидроэнергию жалеть нечего, так как она «даровая», но на деле она всегда оказывается дорогой из-за необходимости крупных затрат на капитальное строительство (влияние этого фактора обнаруживается и на Чирчике).

Раньше расходование большого количества водной энергии считалось неизбежным для азотной промышленности Средней Азии, но уже в 1937 г. появились признаки, что положение с углем для Средней Азии изменяется. После того как были улучшены пути сообщения в глухую долину Ягноба, раньше изолированную от всего мира (там даже сохранилось особое наречие, близкое к персидскому, забытое в остальном Таджикистане), туда проникли и геологи и нашли мощный пласт хорошо коксующегося угля. Так как расстояние от этих мест до Ташкента, вероятно, не превышает 300 км, то это открытие может перевернуть проблему Чирчика. В случае легкой доступности ягнобского угля будет выгоднее электрический ток пустить на нужды промышленности, а азотный комбинат перевести на способ Габера.

Кроме ягнобского угля открыты залежи угля в Фергане (долина Нарына). В конце концов выгоднее завод перенести к углю, чем возить уголь к заводу, потому что перевозка готового продукта (NH_4NO_3) несравненно легче, чем перевозка угля [22*].

То, что произошло на Чирчике, может повториться и в других случаях. Если, например, будет построена хотя бы одна из возможных плотин на Ангаре, то вначале получится громадный избыток электроэнергии; естественно этот избыток приложить к связыванию азота, но затем, по мере роста промышленных центров, эта энергия найдет потребителя, тогда производство синтетического аммиака нужно перевести с белого угля на черный. Но все-таки эти временные ресурсы гидроэнергии выгоднее использовать не на электролиз воды и синтез аммиака, а на приготовление цианамида, так как при этом способе нужно в полтора раза меньше энергии для связывания единицы азота, чем при способе Казале,— около 11,5—12 киловатт-часов вместо 18, т. е. продуктивность комбината может быть поднята на 50%. Поэтому в Италии производство цианамида возрастало не только абсолютно, но и в процентах к общей массе свя-

---

22* Если бы местные залежи оказались недостаточными по количеству или малопригодными по качеству угля, то можно думать об использовании карагандинского угля по тому же принципу «Магомет идет к горе, а не гора к Магомету», т. е. завод строится в Караганде, а в Ташкент доставляется амселитра, но на пути становится препятствием недостаток воды в Караганде. Тогда могло бы прийти на помощь промежуточное решение — завод ставится на таком богатом пресной водой бассейне, как Балхаш (в его западной части, в отличие от засоленной восточной), тогда амселитру пришлось бы перевозить по железной дороге приблизительно за 400—500 км, а это расстояние для такого концентрата не будет являться препятствием на пути проникновения в хлопковые районы.

занного азота, причем цианамид разделял с сульфатом аммония первенство на рынке азотистых удобрений [23*].

Правда, при цианамидном производстве не все 12 киловатт-часов должны быть даны в форме электроэнергии, а на 10,5 киловатт-часа этой последней нужно дать еще 1,5 кг кокса. Но такое количество угля, казалось бы, можно доставить даже из Караганды. Нужно иметь в виду другое преимущество цианамидного процесса перед синтезом аммиака: связывание азота идет при обыкновенном давлении, для синтеза же аммиака нужно по крайней мере 200—250 атмосфер; поэтому отпадает необходимость в дорогой аппаратуре, создание которой является фактором, ограничивающим азотное строительство. Вообще процесс азотирования карбида идёт чрезвычайно просто (с выделением тепла); значительные затраты энергии нужны только для производства карбида, при котором требуется еще умение приготовлять электроды крупных размеров.

Но этим процессом у нас уже овладели, да и все равно производство карбида у нас предстоит развивать в крупном масштабе и по другим причинам — он является важным промежуточным продуктом при синтезе каучука из ацетилена. Этот путь синтеза каучука за счет угля и воды (ее водорода) позволил бы освободить громадное количество картофеля, который так нужен и для продовольственных целей, и для развития животноводства (откорм свиней).

Кроме легкости процесса азотирования, получение цианамида приводит прямо к готовому удобрению, тогда как аммиак нужно связывать с серной кислотой или половину его проводить через окислительные установки, чтобы готовить аммиачную селитру; а окисление аммиака, кроме расходов, связано еще с некоторой потерей азота.

Если на прежних цианамидных заводах создавались условия, вредные для здоровья рабочих (вдыхание цианамидной пыли), то новейшие размольные установки позволяют совершенно изолировать воздух рабочих помещений от воздуха, несущего с собой цианамидную пыль. Что касается еще одного аргумента, что от цианамида труднее, чем от аммиака, перейти к азотной кислоте, то он отпадает, если будем ставить цианамидные установки не *вместо* аммиачных, а *кроме* аммиачных, которые мы можем создать сколько угодно на угле (не только в Донбассе и на Урале, но и в Прокопьевске, в Кемерове, Черемхове и др.), причем производство аммиака на угле требует вчетверо меньшей затраты энергии, чем, например, на Чирчике.

Так как потребности нашего земледелия, при нашей громадной посевной площади, сильно превышают все другие потребности по линии

[23*] Применение азотистых удобрений в Италии росло так (в тыс. ц):

	$CaCN_2$	$(NH_4)_2SO_4$	$Ca(NO_3)_2$	$NaNO_3$	NH_4NO_3
1930 г.	762	1046	281	640	158
1934 г.	1396	1312	857	553	284

азота, то после удовлетворения в самой широкой мере всех других задач мы имеем еще очень большой интервал для дополнительного развития азотной промышленности исключительно для нужд земледелия, и в этом интервале можно свободно выбирать те методы связывания азота, при которых энергия затрачивается более продуктивно, чем при способе электролиза.

Между прочим, характерно, что на Западе цианамидное производство развивается вовсе не только там, где имеется гидроэнергия, но и там, где уголь по качеству не годится для синтеза аммиака. Так, в Германии самый крупный цианамидный завод в Пистерице пользовался электроэнергией от соседней станции, работавшей на буром угле, который очень удобно залегает,— мощная толща этого угля залегает близко от поверхности, поэтому там велась открытая добыча с автоматическим вычерпыванием и подачей угля наверх, вроде того как это делается с торфом (только толща угольного пласта гораздо больше, чем торфа). Характерно, что этот дешевый ток тратили отнюдь не на электролиз воды, а на получение карбида для перехода от него к цианамиду. А разве у нас мало обильных залежей бурого угля и под Челябинском, и в разных частях Кузбасса!

Нужно заметить, что как только перешли от летучих полевых опытов, не имеющих продолжения, к опытам стационарным, при которых учитывается и последействие, то цианамид оказался лучшим видом азотистого удобрения для подзолистых почв. Так, на Люберецком опытном участке НИУИФ, расположенном на бедном оподзоленном супеске, при частом повторении на том же самом месте цианамид дал прогрессивно возрастающие с годами приросты урожаев, а все аммиачные соли дали не только снижение эффекта с годами, но и проявляли отрицательное действие, если не было применено известкование:

Последовательные изменения урожаев при повторном внесении азотистых удобрений
(в % от урожая на делянках КР)

Годы	Цианамид	$NaNO_3$	$Ca(NO_3)_2$	NH_4NO_3	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4Cl
2	188	156	145	163	149	156
4	182	198	153	109	88	79
6	225	212	192	67	38	30

Таким образом, цианамид играет роль не только азотистого, но и известкового удобрения, причем известь является бесплатным приложением к азоту. Конечно, отсюда не следует, что нужно готовить цианамид везде — это требует все-таки больше энергии, чем способ Габера, но там,

где мало хорошего угля и преобладает бурый уголь, место производству цианамида. В других же случаях нужно сопровождать аммиачные соли кальцием, «известковать если не почву, то удобрения». Для этого можно прибавлять к NH_4NO_3 молотый известняк для подзола в том соотношении, которое принято в Англии (40%), а для дальнего транспорта в Среднюю Азию, где почвы богаты кальцием, принцип прибавки извести должен быть другой (минимум $CaCO_3$, необходимый для улучшения физических свойств аммиачной селитры). Наиболее интересным компонентом смесей с амселитрой является преципитат; это показал опыт Франции. Но пока у нас производство преципитата слишком мало развито, желательно испытать примесь к аммиачной селитре фосфоритной муки, притом в одном соотношении ради улучшения физических свойств, в другом — ради растворяющего действия на фосфорит, при совместном внесении опыты НИУ давно установили положительное влияние предварительного смешения аммиачных солей с фосфоритом, что способствует соприкосновению их друг с другом в почве.

В Англии для улучшения физических свойств аммиачной селитры добавляют к ней углекислый кальций, однако здесь не исключен риск потери некоторого количества аммиака. В этом отношении более подходящим компонентом является глина, с добавкой которой получают гранулированную амселитру. Автору пришлось видеть такую гранулированную аммиачную селитру при посещении завода Удэ в Дортмунде в 1932 г. Смесь эта содержала 30% азота, но возможно, что процент глины (конечно, не первой попавшейся, а хорошо выбранной) можно и еще более снизить. Во всяком случае, на Западе смотрят на аммиачную селитру скорее не как на готовое удобрение, а как на хороший материал для его приготовления (путем смешения с преципитатом или аммофосом и калийными солями). При определении желательных размеров снабжения сельского хозяйства промышленным азотом мы должны прежде всего исходить из задачи удовлетворения потребностей в этих удобрениях технических культур, овощных и плодовых и — в значительно меньшей степени — зерновых (о последних может быть речь в первую очередь в условиях поливной культуры). Обеспечение азотом хлебов должно базироваться, помимо навоза, на расширении площади под азотособирателями, потому что только таким путем можно покрыть ту колоссальную потребность в азоте, которая возникает при доведении средней урожайности зерновых до 15—16 ц с гектара.

К первым претендентам на массовое применение минеральных удобрений мы относим наряду с техническими также культуру картофеля и кормовых корнеплодов, имея в виду то обстоятельство, что эти культуры оплачивают удобрения примерно в 3 раза более высоко, считая на прирост сухого вещества.

Понятно, что определение потребного количества минеральных удобрений для сельского хозяйства страны представляет довольно сложную задачу. Дело в том, что потенциальная емкость нашего земледелия в

отношении возможностей использования минеральных удобрений огромна. Поэтому задания, которые мы можем ставить нашей азотной промышленности, должны определяться, с одной стороны, реально возможными темпами роста самой промышленности, а с другой — потребностью в техническом азоте для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, причем мы должны всегда иметь в виду и другие источники приходных статей азотного баланса, путем увеличения которых мы можем компенсировать недостаток азота технического.

Мы уже указывали на то, что если бы мы вздумали применять под все культуры минеральные удобрения в масштабах их применения в Голландии, Бельгии и Германии, мы пришли бы к абсурдным цифрам [5]. Наша посевная площадь перед войной достигла 150 млн. га, и если применить на ней минеральные удобрения по голландскому масштабу, т. е. по $^2/_3$ тонны на гектар, то понадобилось бы 100 млн. т туков, т. е. в 30 раз больше того, что мы производим теперь, и вдвое больше того, что дает вся туковая промышленность на земном шаре. Мало того, Голландия применяет в 6 раз больше навоза, чем мы, но для этого она занимает половину пашни кормовыми культурами, да еще имеет громадную площадь хороших лугов, равную всей посевной площади.

Нам нельзя обременять нашу химическую промышленность непомерными заданиями, нельзя использовать посевную площадь по голландскому типу потому, что там животноводство вытеснило хлебопашество и производится много навоза при малой площади под хлебами, так как в Голландии давно перешли на импортный хлеб. Но переходить на производство 100 млн. т туков и подражать Голландии в утрировке животноводства нам и не нужно, потому что получение средних голландских урожаев (30 ц с 1 га) вовсе не является нашей задачей для всей площади Союза: ведь при 110 млн. га зерновой площади (включая западные республики) такой урожай дал бы валовой сбор 330 млн. т, или 20 млрд. пудов, чего нам сейчас совсем не требуется — нам достаточно около половины этого количества, даже если учесть возможность экспорта.

Вообще неправильно брать за пример прижатую к морю Голландию или малоземельную Бельгию, у которой все распахано. Эти маленькие страны однородны и по естественноисторическим, и по экономическим условиям. Для нашего же Союза, занимающего $^1/_6$ суши, состоящего из ряда разнообразных по условиям республик и краев, следует решать задачу поднятия урожаев в разных случаях по-разному, и статистическое среднее для всего Союза у нас слагается (и должно слагаться) из гораздо более разнообразных компонентов, чем в названных маленьких и более однородных странах.

Поэтому не только в настоящее время, но и дальше при применении минеральных удобрений принципиально нужно вести определенную ставку на технические культуры как потому, что они лучше оплачивают удобрения, так и потому, что при значительном насыщении сево-

оборота, например хлопчатником (а к этому вынуждает ограниченность района возделывания климатическими причинами), нет возможности так развить культуру азотособирателей[24*] и увеличить количество навоза, как это возможно, например, в Московской или Смоленской областях; а иногда приходится прибегать даже к монокультуре (чайные плантации в Грузии). В других случаях значительное насыщение севооборота ведущей технической культурой вызывается необходимостью приблизить к заводам поля, производящие громоздкое сырье (свеклу, лен, картофель), или приблизить к населенным центрам культуру овощей. Но насыщение севооборота этими культурами, требовательными к удобрению, в то же время уменьшает площадь под навозообразующими растениями (кормовыми) и тем создает необходимость прибегнуть к минеральным удобрениям. Поэтому *потребность технических культур в минеральных удобрениях должна быть удовлетворена в первую очередь*. Однако при наших масштабах общая площадь этих более ценных культур все-таки очень велика. Под техническими культурами в собственном смысле слова имеется 11 млн. га, под овощными (включая картофель на полях) — 9,5 млн. га, под садами и виноградниками — 2 млн. га; итого — 22,5 млн. га.

К оценке потребности этих культур в минеральных удобрениях можно подходить с различной степенью детализации. Если принять для всей этой площади в среднем такую норму, как 50—60 кг азота на гектар, то мы получаем величину порядка 1,2—1,3 млн. т азота. Понятно, что не все технические культуры нуждаются в минеральных удобрениях в одинаковой степени. Как дозы, так и процент удобренной площади, естественно, могут сильно различаться и вследствие особенностей самих растений, как, например, лен и хлопчатник, и неодинаковых почвенных условий их возделывания. Поэтому в пределах общей средней нормы остается возможность значительно маневрировать, с тем чтобы обеспечить максимальную эффективность удобрений.

Заметим, что зависимость между дозой удобрения и величиной прибавки урожая вовсе не является такой простой, как это иногда представляют. Так, например, при внесении невысоких доз азотистых удобрений, особенно на почвах бедных, часто наблюдается возрастание эффективности удобрения при повышении дозы (вопреки известной «кривой Митчерлиха»). Еще в старых опытах Вагнера с удобрением озимой ржи разными дозами сульфата аммония (при весенней подкормке) наблюдались такие прибавки урожая (в ц/га):

доза удобрений	1,6	2,0	2,4
прирост урожая зерна	4,34	6,87	9,33
прирост урожая зерна на 1 ц удобрения	2,71	3,44	3,89

Следовательно, в этих опытах первый центнер удобрений оплачивался хуже, чем последующие. Вагнер не только констатировал этот факт, но и дал ему в свое время известное объяснение:

Причину неполного эффекта малых доз азота на бедных почвах он объяснял так:

[24*] См. ниже об условиях, создающих «азотный голод» в хлопковом хозяйстве Средней Азии.

1) голодающие в отношении азота растения имеют ненормальный состав: в них понижено содержание азота; при внесении ограниченного количества азота часть его потратится на исправление ненормального состава, и только другая часть пойдет на повышение урожая, отсюда неполнота оплаты при малых дозах;

2) у голодающих растений соотношение в развитии органов не отвечает нормальному, а именно процент корневой массы у них выше обычного или процент надземных органов ниже; первые дозы азота идут на исправление этого соотношения (усиление развития вегетативных органов — стеблей и листьев), и только последующие дозы скажутся преимущественно на образовании зерна; так, у овса без удобрения на надземные органы приходилось 42% общего веса всей массы растений и 58% на корни; при первой же дозе азота это отношение было 65 и 35%, а при последующей дозе азота — 81 и 19%. Словом, у растения есть как бы свои необходимые общие затраты, и только после их покрытия наступает возможность продуктивного использования следующих доз азота.

Отсюда Вагнер делает такой вывод: на бедных почвах, дающих урожай 10—12 ц зерна, но по физическим свойствам неплохих, нужно давать удобрение дозами не меньше 2,5—3 ц на гектар; если же удобрений мало, то лучше на меньшей площади дать по этой норме, чем всю площадь удобрять малыми дозами. Наоборот, если почва «заправлена» и дает по калийно-фосфатному фону урожай 20—25 ц зерна, то можно внести и меньшую дозу (20—30 кг азота) с шансом должного прироста зерна на каждый центнер удобрения.

Первый случай, когда не следовало применять малых доз, имел место у нас при дореволюционных опытах, в которых на тощие крестьянские почвы рассевали 1 ц селитры на гектар и не получали достаточно высокого эффекта.

Когда же в 1926 г. НИУ провел массовые опыты с дозами удобрений, обычными для практики на Западе, т. е. 45 кг азота на гектар, то обнаружилось, что у нас удобрения действуют не хуже, чем в других странах. Это обстоятельство имеет существенное практическое значение, так как указывает на то, что при недостатке удобрений распределение их нельзя делать по принципу охвата наибольшей площади, а надо применять их хотя бы и не на всей площади, но в таких дозах, чтобы получить наивысшую оплату единицы удобрения. Здесь, конечно, мы будем иметь дело с большим разнообразием условий (орошаемое и неорошаемое земледелие, род культуры и т. д.), но все же важно иметь в виду общее положение о том, что *слишком малые дозы часто могут не давать должного эффекта.*

С другой стороны, нужно не упускать из виду, что увеличение дозы удобрения сверх какого-то уровня (*в зависимости от конкретных условий этот уровень будет разным*), в свою очередь, может привести к снижению оплаты удобрения приростом урожая. Если мы будем увеличивать дозы сверх того количества азота, которое может быть использовано на данном фоне, то мы будем напрасно увеличивать делитель при неизменном делимом, т. е. снижать коэффициент оплаты, так же как и при слишком малых дозах коэффициент оплаты может не достигать оптимума. Такая зависимость наблюдалась Вагнером при сопоставлении результатов как коллективных опытов, проводившихся Германским обществом сельского хозяйства, так и опытов, проведенных в различных условиях. В среднем наблюдалась такая зависимость между дозами азота и высотой урожая озимой ржи (на фоне РК).

	Дано сульфата аммония (в ц/га)						
	1	2	3	4	5	6	7
Прирост зерна (в ц/га)	2,5	7,0	13,0	16,0	19,0	20,0	20,0
Средняя оплата зерном 1 ц удобрения	2,5	3,5	4,3	4,0	3,8	3,3	2,9
Оплата последнего центнера	2,5	4,5	6,0	3,0	3,0	1,0	0

Как видим, имеется известная оптимальная доза для данного уровня культуры, при которой получается наибольшая средняя оплата зерном для каждого центнера удобрения; в зависимости от фона, на котором ставится опыт, положение оптимума, конечно, меняется.

Аналогичные описанным здесь явления можно наблюдать и в опытах с техническими культурами. Приведем пример из опытов Каунчинской станции в Средней Азии с возрастающими дозами азота под хлопчатник (30—60—90 кг и т. д., до 300 кг азота на 1 га) в условиях орошения. Оптимум оплаты единицы удобрения приростом урожая устанавливается здесь при более высоких дозах. Интересно и различие, проявившееся в зависимости от того, вносится ли NH_4NO_3 или $(NH_4)_2SO_4$. Рассмотрим оба эти опыта.

Вот данные опыта с NH_4NO_3 с суммарным учетом действия в первый год и последействия на второй год после внесения удобрения.

Дано азота (в кг/га)	30	90	120	180	300
Прирост урожая хлопка-сырца (в ц/га)	3,5	10,3	19,8	22,9	24,5
На 1 кг азота получено сырца (в кг)	11,6	11,4	16,5	12,7	8,2

Здесь в известном интервале прибавка урожая сырца на каждый килограмм внесенного азота при увеличении дозы сначала возрастает: оплата азота урожаем прогрессивно растет с увеличением дозы азота от 30 до 120 кг. При дальнейшем увеличении дозы прибавка растет медленнее, но до депрессии урожая от избытка удобрения здесь дело не доходит.

В опыте с $(NH_4)_2SO_4$ сначала мы имеем такую же зависимость, но наивысший прирост равняется здесь только 17,9 ц (против 24,5 ц в случае NH_4NO_3), и в правой части кривой наблюдается депрессия от большой дозы удобрения.

Дано азота (в кг/га)	30	90	120	180	240	300
Прирост урожая сырца (в ц/га)	2,3	6,7	12,9	15,5	17,9	15,0

Если построить кривые возрастания урожаев в зависимости от дозы удобрения и присоединить к этому еще кривые изменения оплаты каждой вновь прибавленной единицы удобрения (в данном случае каждых 30 кг азота), а также средней оплаты при возрастающем числе этих единиц, то получим для опыта с NH_4NO_3 следующее графическое изображение (рис. 30).

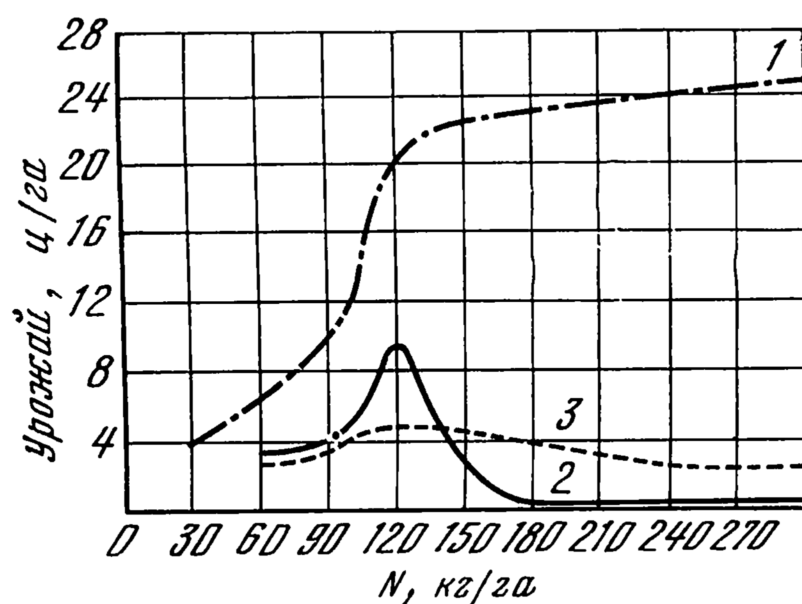
Кривая роста урожаев в начальной части имеет изгиб не влево, а вправо [25*] от прямой восходящей линии. Кривая оплаты каждой новой единицы удобрения (30 кг N) приростом урожая имеет ясно выраженный оптимум при 120 кг, в обе стороны от этого оптимума оплата снижается; при повышенных дозах эта кривая приближается к оси абсцисс, но все же с ней не пересекается. Средняя оплата единицы удобрения является наибольшей также при 120 кг, но, по понятным причинам, снижение по обе стороны оптимума идет более постепенно.

На рис. 31 изображены результаты опыта с $(NH_4)_2SO_4$.

Здесь наблюдаются следующие особенности. В левой части кривая роста урожая опять обнаруживает прогрессивное возрастание при увеличении дозы, при повышении же дозы от 240 до 300 кг мы видим ясную депрессию от избытка удобрения. Кривая оплаты каждой новой единицы удобрения имеет оптимум при 120 кг, но, в отличие от опыта с NH_4NO_3, при более высоких дозах мы имеем пересечение с осью абсцисс и переход к отрицательным величинам.

В этих опытах наблюдается тот же общий ход изменений, как в опытах Вагнера с зерновыми хлебами. Но в то время как там при отсутствии орошения оптимум

[25*] В отличие от кривой Митчерлиха.



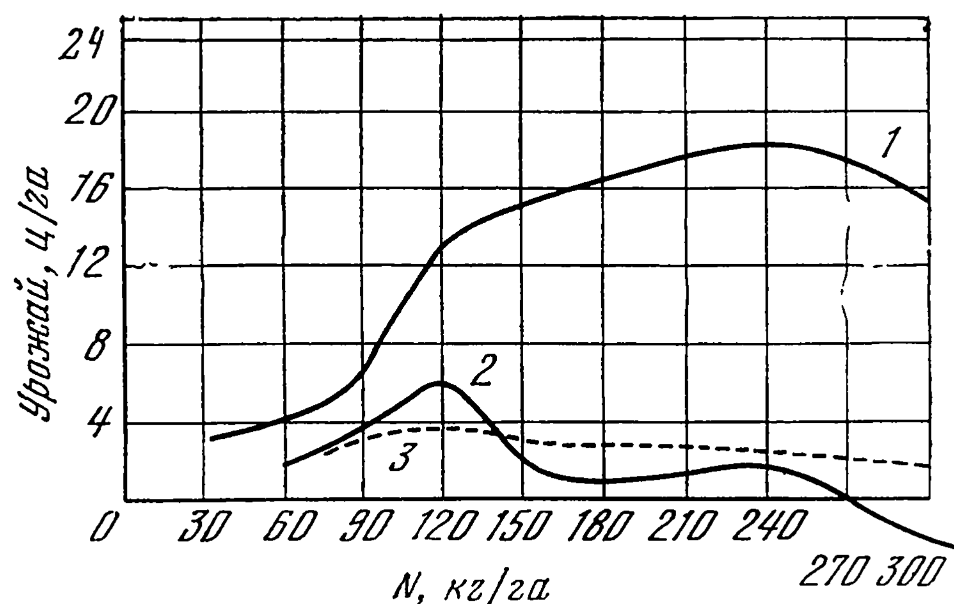


Рис. 30. Действие возрастающих доз NH_4NO_3 на урожай хлопка-сырца

1 — прибавка урожая сырца; *2* — оплата урожаем каждой вновь вводимой единицы удобрения; *3* — средняя оплата урожаем единицы удобрения

Рис. 31. Действие возрастающих доз $(NH_4)_2SO_4$ на урожай хлопка-сырца

1—3 — то же, что на рис. 30

приходится на дозу 60 кг азота, в опыте с орошаемым хлопчатником оптимум оказался при вдвое более высокой дозе.

Таким образом, величина оптимальной дозы удобрения является относительной. Помимо таких факторов, как орошение, путем изменения техники внесения удобрения и вообще уровня агротехники, выбора соответствующих форм удобрений и т. д. можно оптимум сдвинуть в сторону более высоких доз.

Примеры получения рекордно высоких урожаев передовиками социалистического земледелия могут служить иллюстрацией этой зависимости, когда при повышении общего уровня агротехники оказалось возможным с успехом использовать гораздо более высокие дозы удобрений, чем обычно применяемые.

Однако и в этих случаях не следует увлекаться чрезмерно высокими дозами, ибо известный оптимум существует и здесь, хотя он устанавливается на повышенном уровне.

Вместе с тем надо заметить, что, наряду с заботой об улучшении всего комплекса агротехнических мероприятий, для получения высоких урожаев необходимо сочетание минеральных удобрений с органическими. В этих условиях удается даже от сравнительно невысоких доз минеральных удобрений, соответственно сказанному выше, получать весьма хорошие результаты. Во всяком случае, основная установка на достижение максимальной оплаты каждой единицы вносимых минеральных удобрений должна сохраняться и предостерегать нас как от применения слишком малых доз (для охвата бóльших площадей), так и от увлечения чрезмерно высокими дозами удобрений.

Наиболее интенсивно, намного выше уровня средней статистической нормы, должна удобряться значительная часть ценных технических культур, высоко оплачивающих удобрение и по условиям возделывания (почвенным, климатическим и агротехническим — полив, уход и пр.) предъявляющих повышенные требования к уровню обеспечения питательными веществами.

Сюда относятся, например, чайные и хлопковые плантации, которые получали у нас (в 1937—1941 гг.) количество удобрений, превышающее

по расчету на гектар среднюю норму применения удобрений в Голландии, занимавшей среди стран Западной Европы первое место по интенсивности химизации земледелия. Для свекловичного и льняного хозяйства нормы применения минеральных удобрений были значительно ниже, и для этих культур можно поставить ближайшей задачей достижение интенсивности химизации, приближающейся к тому среднему уровню, который имел место до войны в западноевропейских странах. Подсолнечник же, например, при его культуре на мощных черноземах Кубани еще не предъявляет большого спроса на минеральные удобрения.

У нас были сделаны попытки такого более дифференцированного подсчета [26*] потребности в минеральных удобрениях по отдельным техническим культурам с выделением некоторой части азота и под зерновые. Не останавливаясь на деталях этого подсчета, укажем лишь на то, что при сохранении общего принципа первоочередного обеспечения технических культур минимальная потребность в минеральных азотистых удобрениях в этом случае оказывается близкой к величине в 1,3 млн. т азота. Если принять эту величину за исходную при построении перспективного азотного баланса СССР, то станет совершенно очевидным, что для поднятия урожаев на огромной части нашей территории должны быть в самой широкой мере использованы иные методы разрешения азотной проблемы, чем применение минеральных удобрений.

Об увеличении прихода биологического азота. Перспективный азотный баланс в земледелии СССР

Чтобы лучше выразить громадность посевной площади в Союзе ССР, достаточно сказать, что еще в 1940 г. наша посевная площадь (140 млн. га) равнялась сумме посевных площадей всех остальных стран Европы, вместе взятых, включая и Турцию; в настоящее же время наша посевная площадь достигает 150 млн. га, пахотная площадь, включающая паровые поля,— 175 млн. га, а вместе с залежами — 205 млн. га.

Напомним, что общий вынос азота урожаями приближался у нас к 5 млн. т (по данным на 1937 г.), а при задании получать средние урожаи зерновых в 16 ц с 1 га он должен возрасти примерно до 8 млн. т, что более чем в 3 раза превышает годовую продукцию мировой азотной промышленности.

Ясно, что при таких размерах посевной площади и громадном выносе азота *нечего и думать решать азотный вопрос в целом с помощью химической промышленности,* в основе он должен быть разрешен через культуру азотособирателей, раз земельный простор позволяет расширить

[26*] М. Л. Курашева (ВИУАА); см. также: В. Л. Кочетков. Химизация социалистического земледелия, № 7, 1937.

площадь под ними в должной пропорции с культурой хлебов. Этот источник азота нужно считать даровым, так как все расходы по культуре клевера (и других трав) окупает животноводство.

Но для того *чтобы полностью использовать биологический азот клевера* и других кормовых бобовых, необходимо наряду с решительным расширением площади под ними обеспечить *значительно более полное и рациональное использование навоза.* Без этого условия невозможно удовлетворительно свести азотный баланс и добиться нужного темпа повышения урожайности. Ведь значительная часть азота, фиксированного бобовыми, находится в надземной их части, и этот азот в конечном счете (поскольку речь идет о кормовых бобовых) попадает в навоз.

Поэтому только при условии бережного отношения к азоту навоза можно добиться коренного улучшения азотного баланса при одновременном расширении площади под азотособирателями.

Недостаточность вывоза навоза у нас является главной причиной крайне неблагоприятного баланса прихода и расхода не только азота, но и других питательных для растения веществ. К сожалению, за последнее десятилетие вместо усиления имело место ослабление использования навоза. В начале первого пятилетия размеры ежегодного вывоза навоза определяли в 300 млн. т, во втором пятилетии эта цифра опустилась до 200 млн., а в 1940 г., по данным НКЗ СССР, было вывезено всего лишь 125 млн. т, т. е. менее одной тонны на гектар посевной площади.

Правда, за это время несколько увеличилась площадь под травами и соответственно возросло количество азота в корневых остатках клевера, но все же общий дефицит по азоту составлял почти 74% (см. ниже).

Баланс 1940 г.

Из взятого урожаями (100%) возвращалось	Азот	Фосфор	Калий
	в %		
с навозом	14,8	16,1	19,1
с минеральными удобрениями	3,2	15,6	4,8
с корнями бобовых	8,2	—	—
Всего	26,2	31,7	23,9
Дефицит	73,8	68,3	76,1

Опыт же Западной Европы показывает, что для обеспечения систематического роста урожаев необходимо возвращать азот и калий приблизительно на 80%, а фосфор — на 100% (или даже на 110%).

Задача более полного использования навоза имеет важнейшее значение, причем, помимо осуществления ряда общеизвестных мер по рационализации хранения и применения навоза, в отдельных случаях приходится сталкиваться с необходимостью далеко идущей перестройки хозяйства вообще. Здесь, как и по отношению ко многим вопросам сельскохозяйственного производства, нельзя подходить к разрешению их по какому-то одному шаблону, а надо разрабатывать соответствующую систему мероприятий дифференцированно, с учетом конкретной обстановки.

Остановимся на одном примере — на хлопковом хозяйстве Узбекистана; на нем можно демонстрировать, насколько недостаточно используются внутрихозяйственные ресурсы азота, которые при 25% площади под люцерной являются очень крупными, но на деле большая часть этого азота пропадает — это азот надземных частей люцерны, количественно преобладающий над азотом корневых остатков.

Дело в том, что там нет подстилки — хлеба были изгнаны с орошаемой площади. Вытесняя же хлеба, хлопчатник почти лишил себя навоза, так как без соломы нельзя правильно приготовить навоз, нельзя уловить жидкие выделения: они или стекают на сторону, или на месте подвергаются разложению, и большая часть азота люцерны уходит в воздух в виде аммиака; таким образом, отсутствие в хозяйстве соломы сильно уменьшает роль люцерны как азотособирателя. Насколько велики эти потери, показывает следующий подсчет: люцерна в Средней Азии должна давать 4 укоса, что отвечает по крайней мере 100 ц сена, или — за 3 года — 300 ц; так как в сене люцерны содержится 2,3% азота, что в сумме дает 690 кг азота, а за люцерной следует хлопчатник, занимающий 6 полей в девятипольном севообороте, то на каждое поле хлопчатника в виде навоза должна попасть $^1/_6$ всего азота люцерны, или 115 кг в год. Данные же по вывозке навоза показывают, что на каждый гектар хлопчатника в среднем попадает не 115, а только 15 кг азота.

Громадную потерю азота люцерны пытаются возмещать внесением 40—45 кг дорогого азота аммиачной селитры, вместо того, чтобы применять ее на фоне хорошего навозного удобрения.

Ненормальность азотного баланса в хлопковом хозяйстве хорошо видна из следующего сопоставления: в то время как даже в наиболее индустриализованных странах Западной Европы из общего выноса азота урожаями (100%) с минеральными удобрениями возвращалось [27*] 20—25%, а с навозом — свыше 40%, в Узбекистане мы имели обратное соотношение — только до 17,5% выноса азота хлопчатником возвращалось с навозом [28*], а минеральными удобрениями покрывается 48% вы-

---

[27*] По данным довоенного периода.

[28*] Иногда же доля азота, возвращаемая с навозом, опускается до 5%, как это показано для Андижанской области профессором С. А. Кудриным.

носа. Вот почему Узбекистан превосходит Францию, Германию и Бельгию по количеству применяемых минеральных удобрений на гектар и, конкурируя с Голландией за первое место в мире, имел урожаи хлопчатника более низкие (16 ц с 1 га), чем он должен был бы иметь при применении минеральных удобрений на фоне навоза (32 ц с 1 га). Это расплата за отсутствие подстилки, за отсутствие правильно организованного навозного хозяйства.

Мною в 1942 г. было внесено предложение — ввести на орошаемые площади культуру хлебов, дающих солому, в такой пропорции, чтобы поднятие урожая на оставшейся площади с избытком компенсировало отведение части хлопковой площади под хлеба. А так как эти последние дают в Узбекистане два урожая в вегетационный период, когда хлопчатник дает только один, то получается крупный выигрыш в продукции как соломы, так и зерна.

Вопрос о более полном использовании навоза и других местных ресурсов для всего Советского Союза имеет огромную важность. Для того чтобы дать представление о возможной роли навоза в общем балансе питательных веществ, можно указать на то, что, по подсчетам академика Е. Ф. Лискуна, количество ежегодного вывоза навоза в СССР при доведении поголовья до размеров, отвечающих задаче полного обеспечения потребностей страны в продуктах животноводства (по расчету на душу населения), должно будет достичь грандиозной величины в 1 млрд. т. Если допустить, что на удобрение будет вывозиться 70% этого количества (учитывая неполноту сбора навоза и частичное применение его на топливо), мы получим возможную перспективную величину применения навоза в 700 млн. т, что эквивалентно 3,5 млн. т азота. Это количество давало бы уже около 40% общего выноса азота (8,2 млн. т) против 20%, как это имело место в 1937 г. Если же взять абсолютные цифры, то доведение ежегодной вывозки навоза до 700 млн. т означает увеличение по сравнению с 1937 г. примерно в 3,5 раза. А если учесть, что еще до войны фактические размеры применения навоза опускались у нас до 125 млн. т в год (как в 1940 г.) и еще более снизились, естественно, за время войны, то станет понятным, что означает для нас задание — довести ежегодное применение навоза до 700 млн. т [29*].

Необходимо решительно покончить с недооценкой того огромного значения, которое принадлежит навозу как важнейшему, основному звену правильной системы применения удобрений.

Надо понять, что *без радикального изменения степени навозообеспеченности наших полей нечего и думать о том, чтобы создать нормаль-*

[29*] О том, какое крупное облегчение в вывозке этих больших масс навоза может дать рациональное применение зеленого удобрения (в той новой форме, которая теперь предлагается) на более отдаленных полях и сосредоточение навоза в пределах ближних полей, занятых интенсивными культурами, будет сказано ниже.

ное соотношение между приходной и расходной частью баланса азота и других питательных веществ в нашем земледелии, систематически повышать плодородие почв и поднять на должную высоту урожайность наших полей.

Но в то же время надо иметь в виду, что при всем огромном значении навоза он может только в том случае занять должное место в азотном балансе нашего земледелия, если мы резко увеличим приход азота с помощью расширения посевов клевера и других азотособирателей.

Нужно помнить, что сам по себе навоз не дает нового количества азота, он не содержит ничего, что не входило уже ранее в состав растений, и его применение было бы только частичной *реутилизацией*, подобно тому как на заводах реутилизируется вода холодильных установок, если бы в навоз не вливались новые количества азота через клевер. Но в то же время навоз является крупным источником потерь азота, особенно при неправильном хранении. И только при одновременном увеличении фиксации азота азотособирателями и улучшении обращения с навозом мы можем добиться ликвидации непомерной дефицитности нашего азотного баланса за счет биологического азота, т. е. азота, связанного клубеньковыми бактериями клевера и других бобовых. Примерно можно считать, что из всего количества азота, связанного клубеньковыми бактериями клевера, остается в почве половина (в корневых остатках), а другая половина переходит вместе с сеном, пройдя через организм животного, в навоз. Поэтому клевер участвует в азотном балансе двояким образом: во-первых, как непосредственный источник прихода азота в почве в виде корневых остатков и, во-вторых, через увеличение количества азота навоза за счет той части связанного азота, которая находится в надземной части клевера (также люцерны и других кормовых бобовых).

Таким образом, в приходной графе баланса азот навоза, в свою очередь, составляется из двух частей — нового количества азота, связанного бобовыми, и азота, повторно возвращаемого в почву, который попал в навоз в составе подстилки и через другие корма, кроме клеверного и люцернового сена[30*]. При построении перспективного азотного баланса следует поэтому иметь в виду *тесную сопряженность двух статей прихода — азота бобовых и азота навоза.*

Какова же должна быть площадь под бобовыми для того, чтобы удовлетворительно свести азотный баланс при установке на достижение средней урожайности 16 ц с 1 га и соответственном размере ежегодного выноса азота 8—8,2 млн. т? Для разрешения этого вопроса необходимо

[30*] Здесь возможна и дальнейшая детализация. Так, например, при применении торфяной подстилки мы также через навоз вводим новые количества азота, затем путем применения навоза происходит перенос азота и других питательных веществ, взятых растениями с луговых угодий, на полевые земли. На этих деталях мы здесь подробнее останавливаться не будем.

учесть, сколько азота за год может накопить гектар, занятый клевером, люцерной, люпином и пр.

Конечно, количество азота, накопляемое клевером, зависит от его развития. Но посмотрим, чего можно достигнуть при хорошем росте клевера (в предположении, что у нас клевер получит калий и фосфор).

Если мы возьмем клевер однолетнего пользования (двухлетнего возраста), то, по довольно давним данным Шульце [31*] (Бреславль), он оставляет в корневых остатках 177 кг азота, по Вернеру и Вейске, — 152 кг. Так как в надземных органах при хороших укосах клевера должно содержаться около 100 кг азота, то всего в урожае клевера может содержаться около 250—280 кг. Считая, что $^2/_3$ этого азота взяты из воздуха, получим, что гектар хорошего клевера может усвоить около 160—180 кг. На этом основании мной при подсчете возможного азотного баланса в будущем и была принята цифра в 150—160 кг на 1 га.

В литературе имеются и другие данные, согласно которым усвоение азота бобовыми происходило в меньших размерах, но характерно, что при тщательно проведенных десятилетних опытах Ляйона и Бицеля в США эти авторы пришли к цифре фиксации азота красным клевером 182 кг на 1 га за год (см. ниже).

Поэтому я нахожу возможным при плановых предположениях принять накопление азота клевером в 150—160 кг в год на гектар, считая, что калий и фосфор для клевера будут обеспечены. При таких же условиях для люпина можно принять близкую цифру (160 кг), но значительно больше азота может накопить люцерна, дающая при орошении в условиях Средней Азии по 4 укоса в лето.

Еще Буссенго (1836—1838) установил, что люцерна может уносить ежегодно по 200 кг азота в надземных частях, не получая азотистых удобрений; у нас в Средней Азии наблюдался вынос 227 кг (данные Иоффе за 4 года); в упомянутых опытах Ляйона и Бицеля мы находим еще бóльшую цифру — до 272 кг (десятилетнее среднее), но одновременно происходит еще обогащение почвы азотом. Размеры этого обогащения оцениваются разными авторами весьма различно. Так, по данным Аккавакской станции [32*] на глинистых почвах за 3 года люцерна накопила 1200 кг азота в 40-сантиметровом слое почвы, в среднем по 400 кг в год. В совхозе «Баяут» констатировано накопление 527 кг за 3 года в одном только пахотном горизонте. По данным Ширабудинской станции, трехлетняя люцерна накопила в почве 943 кг, а пятилетняя — 1219 кг азота [33*]. Однако, с другой стороны, в американской литературе часто приво-

---

[31*] См. сопоставление прежних данных, например, в книге Ремера «Ackerbaulehre». 1933, стр. 152 и 202.

[32*] См. брошюру Гельцер и Ласуковой «Влияние культур на плодородие почвы». Ташкент, 1934; там же — данные Иоффе и Жорикова.

[33*] Однако очень трудно достигнуть точности при определении прироста азота, так как его приходится определять при малых навесках, по разности, на фоне боль-

дятся для корневого накопления азота более низкие цифры [34*].

Поэтому мы примем как вероятный размер корневого накопления для люцерны 100 кг в год и для надземных частей 200 кг, всего 300 кг азота на гектар ежегодно [35*].

Еще из кормовых трав у нас может быть принята во внимание смесь вики с овсом; но здесь размер накопления не может быть велик как по краткости пребывания вики на корню, так и потому, что она разжижена овсом. Часто приходится сеять вику с овсом из-за недостатка клеверных семян, но при наличии клеверных семян гораздо рациональнее иметь чистый клевер однолетнего пользования, чем вику с овсом.

Преимущество клевера по сравнению с овсяно-виковой смесью, во-первых, обусловливается тем, что он, будучи высеян в предшествующем году, начинает вегетацию гораздо раньше и с первыми лучами весеннего солнца сразу приступает к ассимиляции углерода, начинает питать углеводами как самого себя, так и клубеньковые бактерии, фиксирующие азот. Между тем для вики с овсом нужно время, чтобы обсохла почва до степени, необходимой для движения орудий, а затем когда-то еще появятся всходы и начнется перевес ассимиляции над дыханием у молодых растений. Во-вторых, если вика и является азотособирателем, то овес является азотопотребителем, в связи с чем результат с точки зрения обогащения почвы азотом весьма сомнителен, так как имеются наблюдения, из которых следует, что весь азот, который вика возьмет из воздуха, оказывается в надземных частях овсяно-виковой смеси и пойдет в навоз, который попадет под другие растения, а для озими, прямо следующей за вико-овсяной смесью, в почве может даже быть обеднение азотом в том случае, если овес возьмет из почвы азота больше, чем его успеет отложить в своих корневых остатках вика.

Отсюда возможность случая, что весь прирост азота от вики окажется в надземных органах, а не в почве; поэтому чистый посев клевера, даже однолетнего пользования, является гораздо лучшим предшественником озими, чем вика с овсом. Такой случай, когда комбинация однолетних бобовых со злаками при улучшении общего азотного баланса в хозяйстве уменьшала запас азота в почве, приведен в упомянутой работе Ляйона и Бицеля. Так как их результаты интересны в различных отношениях, то полезно на них остановиться [36*].

ших количеств азота самой почвы, а затем помножать на бесконечно большую величину (отношение веса почвы на гектар к величине навески по Кьельдалю).

[34*] См. обзор в статье «Биологический азот в земледелии» (Социалистическая реконструкция сельского хозяйства, 1935, октябрь, стр. 126), а также статью Мишустина и Бернарда «Химизация социалистического земледелия», 1935, № 11—12.

[35*] Однако, как выше показано, для условий Средней Азии до сих пор приходилось считаться с фактом потери большей части азота надземных органов люцерны и только азот корневых остатков считать застрахованным от потерь; но в дальнейшем, с введением культуры хлебов в хлопковые севообороты, условия приготовления и хранения навоза должны улучшиться.

[36*] Lyon, Bizzel. Journal of the American Society of Agronomy, N 8, 1934.

Постановка опыта была такова: в течение 10 лет различные бобовые культивировались в чередовании с зерновыми хлебами, по типу двухпольного севооборота, причем все урожаи подвергались анализу; также было определено содержание азота в почве до опыта и после него; средние цифры сопоставлены в следующей таблице (в килограммах азота в год на гектар):

	Прибыль или потеря азота в почве	Азот в надземных органах	Общая прибыль азота
Клевер красный	66,5	116,0	182,5
» шведский	74,4	95,6	170,0
Люцерна	75,9	224,3	300,2
Донник	52,5	151,2	203,7
Вика с пшеницей	12,1	69,1	81,2
Смесь красного и шведского клевера	72,2	131,5	203,7
Донник и вика	51,2	143,8	195,0
Соя	−5,2	132,7	127,5
Горох с овсом	−4,0	61,5	57,5
Фасоль	−12,5	83,7	71,2
Люцерна при непрерывной культуре	63,1	271,9	335,0

Здесь интересно отметить, что при чередовании однолетних бобовых с зерновыми в итоге почва данного участка может терять часть азота, а весь избыток азота, происходящий от усвоения азота воздуха, оказывается в надземных частях растения (вместе с азотом, взятым из почвы).

Но если это снижает значение вики как предшественника озими, то в общем балансе, конечно, должен быть учтен и азот надземных частей вики. Можно принять, что вика, высеваемая в смеси с овсом, дает прибавку от 50 до 80 кг азота, заимствованного из воздуха.

Вероятно, того же порядка прибавку можно принять как минимальную для зерновых бобовых, площадь под которыми у нас должна быть значительно расширена, так как они имеют двоякое преимущество перед другими яровыми — не требуя азотистых удобрений, они содержат в зернах вдвое больше белка, чем злаковые хлеба, а также их солома гораздо богаче белками, чем солома злаковых, поэтому они могут служить важным источником для пополнения того общего недостатка белков в пищевом и кормовом балансе, который у нас имеет место (особенно в краях, пострадавших от немецкой оккупации). Богатое видами семейство бобовых позволяет выбрать подходящую к климатическим и почвенным условиям форму. Так, на юге возможна культура фасоли, сои и арахиса, на севере играют большую роль горох и чечевица, в лесостепной поло-

се к ним присоединяются конские бобы, а в засушливой юго-восточной зоне нут и чина стоят на первом месте [37*].

Отметим, что в десятилетних опытах Ляйона для накопления азота клевером получились величины, подобные тем, какие мы положили в основу наших приблизительных расчетов относительно накопления азота этим растением. А если мы примем, что гектар хорошего клевера, удобренного калием и фосфором, может дать 150—160 кг азота в год, считая как азот клеверного сена, так и азот корневых остатков, то отсюда следует, что 200 тыс. га клевера могут при правильной культуре связать 30 тыс. т азота за год, т. е. заменить собой довольно мощный азотный комбинат. Сказанное относительно клевера приложимо и к люцерне, но люцерна при четырех укосах в лето может дать вдвое больше, чем клевер. Но, конечно, для того чтобы «биологический азот» приобрел должное значение в азотном балансе, необходимо повсеместное введение и освоение правильных севооборотов.

Мы видели, как в Западной Европе переход к плодосменному севообороту с 25% клевера привел к удвоению урожаев хлебов и еще большему повышению общей продукции полеводства. Правда, там главная роль принадлежала четырехпольному севообороту (норфолькскому), у нас же преобладают восьмипольные севообороты, но при обычном у нас двухлетнем пользовании клевером он занимает также 25% площади. Конечно, чтобы дать больше места клеверу, нужно вводить его в севооборот не только за счет сокращения паровой площади (например, до 12,5%), но и за счет некоторого расширения посевной площади в нечерноземной полосе. Если общая посевная площадь достигла бы 160 млн. га, то при восьмипольном севообороте [38*] площадь под бобовыми могла бы равняться

[37*] Кроме ярового клина, некоторые бобовые могут помещаться в занятом пару. Сюда относятся, с одной стороны, чечевица, которая в черноземной полосе созревает до посева озими, а с другой стороны, и позднеспелые растения, как бобы, при условии посева озими в промотыженные междурядья (45—50 см) до уборки бобов. Там, где бобы уже не могут культивироваться из-за сухости климата, заслуживают испытания сладкий люпин (на зерно) и нут (высокорослые разновидности). В отличие от других культур, эти растения частично компенсируют обеднение парового поля азотом, а также и влагой, если при уборке оставляется достаточно высокое жнивье, чтобы обеспечить снегозадержание.

[38*] Восьмипольные севообороты с двумя годами клевера, с двумя полями как озимых, так и яровых хлебов и с одним или двумя полями пропашных генетически связаны с классическим плодосменным севооборотом, а именно норфолькским четырехпольем (пропашное, яровое, клевер, озимое). Следующим звеном послужило датское восьмиполье, в котором ради экономии семян клевера было введено двухлетнее пользование им. Тогда получилась такая последовательность: пропашное, яровое, клевер, клевер, озимь, пропашное, озимь, ярь. У нас благодаря климатическим условиям приходится вместо одного из пропашных иметь паровое поле при сохранении в остальном основных правил плодосмена. Если порядок полей изменяется отчасти в зависимости от того, подсевается ли клевер под озимое или под яровое, то все же процент площади под клевером в основных севооборотах не превосходит обычно 25, что характерно для севооборотов плодосменного типа, и только когда в хозяйстве встречается второй (добавочный) севооборот специально для снабжения кормами

Перспективный проект азотного баланса в земледелии СССР

Статьи баланса	Структура приходной части баланса		Баланс	
	в тыс. т	в %	в тыс. т	в %
I. Вынос азота с площади 160 млн. га при урожае 16 ц с 1 га зерновых и при соответственном уровне урожаев других культур	8200	100,0	8200	100,0
II. Возврат:				
1) азот минеральных удобрений	1300	15,9	1300	15,9
2) азот, связанный бобовыми (на площади 27 млн. га)[1]	4100	50,0	–	–
В том числе:				
а) в корневых остатках	2050	25,0	2050	25,0
б) азот надземных частей, поступающий в почву с навозом	2050	25,0	–	–
3) азот навоза (700 млн. т)	3500	42,7	3500	42,7
В том числе:				
а) азот надземной части бобовых	2050	25,0	–	–
б) азот, взятый из почвы растениями и обратно возвращаемый с навозом (реутилизация)	1450	17,7	–	–
Итого	–	–	6850	83,6
III. Дефицит, покрываемый деятельностью свободноживущих азотособирателей	–	–	1350	16,4

40 млн. га, что в случае клевера отвечало бы накоплению 6,4 млн. т азота, т. е. биологическим путем было бы покрыто $^3/_4$ будущей общей потребности в азоте. Но так как на юго-востоке придется пока думать только о введении однолетних бобовых зернового типа, а не клевера и люцерны, то мы поставим задание более ограниченного размера — накопление бобовыми половины всего будущего выноса азота культурами, или 4,1 млн. т азота, что возможно при отведении под клевер и люцерну 27 млн. га.

Из общего количества азота, связанного бобовыми (4,1 млн. т), половина (2,05 млн. т) будет оставаться непосредственно в почве — в корневых остатках, а половина будет поступать в почву через навоз.

В итоге мы можем наметить в общих чертах следующую схему перспективного построения азотного баланса в земледелии Советского Сою-

скотного двора, он может иметь 60% и более под травами, т. е. принимать характер травопольного севооборота. Но для основных севооборотов чаще всего характерен плодосменный тип, кроме засушливого юго-востока, где преобладают севообороты паропропашного типа (без многолетних трав).

за, рассчитанного на первоочередное обеспечение техническим азотом наиболее ценных культур, поднятие урожаев на всей посевной площади до среднего уровня 16 ц на гектар зерновых (и соответственного повышения урожайности других культур).

Это сопоставление главных статей перспективного баланса азота показывает, по нашему мнению, каким путем, по каким основным направлениям мы должны идти для разрешения проблемы снабжения азотом нашего земледелия, добиваясь коренного изменения в отношении ликвидации чрезмерной дефицитности нашего баланса азота и обеспечения дальнейшего роста урожаев и повышения плодородия почв. Это основное направление, с нашей точки зрения, должно заключаться в ставке главным образом на азот биологический, азот клевера и люцерны в первую очередь. Именно в этом пути мы видим ключ к разрешению азотной проблемы для нашей главной культуры — зерновых хлебов. Вместе с тем и в тесной связи с этой основной ставкой на биологический азот выступает на первый план громадное значение навоза, применение которого должно обеспечить вовлечение в хозяйственный круговорот около половины всего количества азота, связанного клевером и люцерной.

Для более четкой характеристики пути, который мы должны пройти при разрешении поставленной задачи, сравним соответственные рубрики фактического состояния нашего довоенного азотного баланса (в млн. т) на 1937 г. и намеченного нами перспективного плана (см. таблицу).

Баланс	Вынос	Возврат				Дефицит
		минеральные удобрения	клевер	навоз		
1	2	3	4	5 *	6	7
1937 г.	4,90	0,20	0,20	0,20	0,90	3,40
Перспективный план	8,20	1,30	2,05	2,05	1,45	1,35
Разность	+3,30	+1,10	+1,85	+1,85	+0,55	−2,05

* Графа 5-я, общая для клевера и навоза, включает азот надземной части клевера и других бобовых, поступающий в почву с навозом; в 4-й графе показан азот корневых остатков клевера (и люцерны). Графа 6-я включает ту долю азота навоза, которая представляет реутилизацию (азот, взятый из почвы растениями и обратно возвращаемый в почву с навозом).

Таким образом, по намеченному плану увеличение выноса азота на 3,3 млн. т лишь на $^1/_3$ покрывается соответственным увеличением размеров потребления технического азота; остальные же $^2/_3$ дополнительного выноса должны быть покрыты за счет увеличения других источников прихода азота, главным образом азота биологического и азота навоза. Эти же источники должны, кроме того, дать еще более 2 млн. т азота для снижения исходной дефицитности азотного баланса.

Что касается увеличения той части азота навоза, которая приходится на азот, взятый растениями из почвы и обратно возвращаемый с навозом (графа 6-я), то этот прирост должен получиться за счет увеличения подстилки и кормов вследствие повышения урожайности зерновых и небобовых кормовых культур, а также за счет сокращения потерь азота при хранении навоза и более полного и рационального его использования.

В приведенном здесь плане азотного баланса, как мы уже сказали, указаны лишь главные статьи прихода и не учтены еще некоторые другие дополнительные источники, которые также должны быть использованы. Если они и не играли до сих пор решающей роли в общем разрешении азотной проблемы, то в дальнейшем эти дополнительные источники заслуживают серьезного внимания. Особенно это следует иметь в виду для самого ближайшего времени, когда по ряду причин, вызванных войной, произошло резкое снижение основных источников прихода биологического азота вследствие уменьшения поголовья скота (особенно в районах, бывших в фашистской оккупации) и связанного с этим уменьшения количества навоза, гибель клеверных посевов и недостаток семян клевера, что вызвало в ряде случаев сокращение площади под клеверами и т. д. При этом надо иметь в виду, что полный эффект от тех мероприятий, которые будут предприняты для коренного улучшения азотного баланса с помощью расширения посевов клевера,— даже когда оно будет осуществлено,— получится не сразу.

Дело в том, что при нашем способе многолетнего пользования клевером между годом его посева и уборкой той культуры, под которую он должен улучшить почву, ложится промежуток в 4—5 лет. Правда, действие обогащенного азотом навоза, получаемого от клевера, может сказаться раньше, но все же только на третий год от посева. Кроме того, только постепенно проходя по всем полям севооборота, клевер будет оказывать общее влияние па подъем урожаев.

Поэтому, например, расширение клеверных посевов, произведенное в 1946 г., даст прирост урожая культур, идущих по клеверищу, только в 1949—1950 гг. Для обеспечения роста площадей под клевером необходимо прежде всего быстрое и энергичное проведение мероприятий по развитию производства семян в совхозах и колхозах определенных районов, так как именно недостаток семян клевера, а не площади, ограничивает в настоящее время развитие нашего клеверосеяния.

Понятно, что и повышение размеров накопления и применения навоза, даже при всем внимании к этому делу, будет идти лишь постепенно, параллельно с восстановлением и развитием животноводства и расширением кормовой базы, т. е. главным образом тех же посевов клевера.

В связи со сказанным для нас в настоящее время приобретают особо важное значение все те дополнительные ресурсы и возможности, какие можно мобилизовать для пополнения приходной части азотного баланса Остановимся кратко на рассмотрении некоторых из них [8].

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗЕЛЕНОГО УДОБРЕНИЯ

Помимо культуры кормовых трав (клевер и люцерна главным образом), способность бобовых фиксировать азот из воздуха должна быть использована еще путем высева их на зеленое удобрение, и в этом отношении главная роль принадлежит люпину, который при хорошем развитии может накопить ко времени запахивания под озимые около 160 кг азота на гектар, т. е. не меньше, чем содержится в 30—35 т навоза. Принимали, что в одной только европейской части СССР (нечерноземная полоса) возможно ежегодно применять зеленое удобрение на площади 2,5 млн. га; затем широкое поле для применения зеленого удобрения имеется в Сибири, где пар предшествует яровой пшенице и, следовательно, можно позднее запахивать зеленую массу, чем это делается под озимь; также и в субтропиках культура бобовых на зеленое удобрение приобретает большое значение.

Посев бобовых на зеленое удобрение дает более быстрый эффект, чем посев клевера и люцерны. На эти мероприятия необходимо теперь обратить особенно большое внимание при восстановлении сельского хозяйства в пострадавших от войны областях для поднятия плодородия полей при недостатке навоза.

Применение зеленого удобрения раньше ограничивалось преимущественно песчаными почвами, теперь же оно *должно бы найти широчайшее распространение*, так как этим путем можно заменять недостающий навоз *на всех почвах* (даже в черноземной полосе, если применять его с осени под яровые). Но здесь мы сталкиваемся с таким препятствием, как *недостаток семян.*

При борьбе с этим злом приобретает большое значение выбор растения — предпочтительными являются бобовые с *мелкими семенами*, тогда требуется меньше семян на гектар и расширяется возможность вставочной культуры азотособирателя без занятия особого поля весной (подсевом под хлеба).

К сожалению, до сих пор главную роль играл у нас узколистный люпин, имеющий крупные семена. Это заставляет доводить норму высева до 160—200 кг на 1 га, причем это количество затрачивается на получение только одного укоса зеленой массы, так что каждый год этот расход должен повторяться. Кроме того, к северу от Москвы, где семена этого люпина не вызревают, возникает надобность также в дополнительных расходах и организационных мероприятиях по транспорту семян.

Поэтому следует, не отменяя заботы о размножении семян однолетнего люпина, использовать также и мелкосемянный многолетний люпин, у которого отношение между количеством семян и получаемой за их счет зеленой массы раз в 35 или 45 выгоднее, чем у однолетнего люпина, так как для высева на гектар требуется в этом случае раз в 6 меньше семян

(30 кг на 1 га), а сроки пользования укосами раз в 6—8 (а иногда и в 10) больше. А если к этому прибавить, что многолетний люпин может давать в одно лето от двух укосов (под Ленинградом) до трех (Чернигов), то указанное выше отношение может оказаться для многолетнего люпина раз в 100 выгоднее, чем в случае люпина однолетнего.

Конечно, первый год жизни у многолетнего люпина, как и у клевера, еще не является годом пользования; посеянный весной, он развивает только прикорневую розетку, цветение же, очень раннее, наступает лишь на второе лето, но несмотря на это, вопрос о *снабжении своими семенами всего скорее и легче может быть разрешен именно при многолетнем люпине, тем более что и коэффициент размножения у него гораздо выше*, чем у однолетнего. По данным Волоколамского опытного поля, при широкорядном посеве с мотыжением можно высевать 4 кг семян и получать урожай от 4 до 9 ц на гектар, т. е. коэффициент размножения может достигать величины сам-100 (и даже сам-200). Кроме того, первый год жизни может быть сильно сокращен в его первой (вегетационной) части, потому что возможно, даже под Ленинградом, кроме весеннего, применять еще июльский посев этого люпина, а так как его семена могут быть убраны раньше уборки озимых, то, например, на юге Белоруссии вполне возможен посев семенами, собранными в этом же году. Тогда не пропадет ни одного лета на подготовку травостоя люпина к следующему году и будет ускорено расширение площади под люпином. Далее, у этого люпина возможно даже *совмещение сбора семян и использования главной массы на укос в целях удобрения*; именно на той части поля, которая оставлена для получения семян, можно срезать серпами высоко выдающиеся над листьями цветоносные стебли (в июле — на севере, в июне — на юге), а главную массу после этого скашивать и свозить на удобряемое поле.

Так как многолетний люпин дает зрелые семена вплоть до Архангельска, то везде возможно получение посевного материала *на месте*.

Кроме роли поставщика зеленой массы и семян многолетний люпин может играть роль мощного мелиоратора бедных почв севера: не только 7—8 лет люпиновой залежи, но даже 3 года существенно поднимают плодородие участка. Так, на Судогодском опытном поле после двух лет пользования люпином для скашивания на удобрение было получено 222 ц картофеля на поле, раньше заброшенном из-за малой урожайности. В этом случае никаких удобрений не применялось; *если же применять фосфоритную муку и калийную соль, то с помощью многолетнего люпина могут быть освоены не только большие площади сильно оподзоленных почв (вересковых пустошей), но и бедные пески,* которыми мы так богаты, начиная от «песчаного моря», занимающего обширные пространства на севере (Шенкурский район), и кончая знаменитыми Алешкинскими песками на юге. За счет закрепления последних с помощью люпина можно создать около 200 тыс. га виноградников и поддерживать их плодородие с помощью междурядной культуры того же люпина, подобно тому

как за границей занимаются «подгонкой сосны» с помощью люпина на бедных песках.

Пока у нас мало семян многолетнего люпина, главным видом его использования приходится считать культуру вне севооборота, на запольных участках, которые должны явиться как источником семян, так и доставлять зеленую массу для укосного удобрения смежных полей. Но когда семян будет больше, тогда можно будет перейти к культуре в севообороте, для однократного пользования — запахивания цветущего люпина в паровом поле для удобрения озимой ржи, причем подсев люпина должен производиться предыдущей весной под овес, предшествующий пару. Этот прием с успехом испытан на Судогодском опытном поле (Ивановская область). На северо-востоке, судя по данным Соликамской опытной станции, он не всегда удается, но к западу от меридиана Москвы он дает очень хорошие результаты, а именно в трехлетних опытах, проведенных агрономом Кондратовым в Смоленской области, урожай ржи по многолетнему люпину был выше, чем по 18 т навоза, и приближался к урожаю по 36 т. Кроме того, последействие на следующем за рожью картофеле было весьма значительно.

Вот средние данные за 3 года (1936, 1937 и 1939) (в ц/га)

	Озимая рожь	Картофель (последействие)
Контроль	8,4	87,4
Многолетний люпин	15,0	176,8
Навоз (36 т)	15,9	168,3
Навоз (18 т)	12,3	151,6

Еще более благоприятные результаты были получены на Уральской зональной станции (Пермская область), где действие люпина было значительным даже на третьей культуре (в ц/га).

	Рожь	Лен по ржи:		Ячмень после льна
		солома	семена	
Контроль	7,0	11,0	2,5	6,0
Люпин запахан в цвету	19,1	21,2	5,3	12,1
Запаханы только пожнивные остатки люпина	16,6	19,9	4,7	10,9

В настоящее время очередной задачей является форсированное размножение семян многолетнего люпина. Для этого мной было предложено семена, собранные на малых площадях в июле и августе 1944 г. на севере

(Ивановская, Московская, Смоленская, Калининская области), высеять в августе или сентябре на Кубани; предполагалось, что они дадут новый урожай семян (сам-100 или выше при высеве 4,5 кг широкорядным посевом) в начале лета 1945 г., а к осени на юге ожидалось второе цветение и плодоношение. Тогда уже к 1946 г. можно было бы увеличить запас семян, привезенных с севера, в 10 тыс. раз (или — к 1947 г.— в миллион раз) [39*], чтобы снабдить семенами прежде всего области, лишившиеся скота во время войны, а затем стремиться и в других районах заменить при удобрении паров навоз люпином, а навоз применять под картофель и другие культуры.

Необходимо отметить, что введение посевов люпина на паровых полях всей нечерноземной полосы поможет разрешению еще одного очень важного вопроса — оно даст крупное облегчение такой трудоемкой работе, как вывозка навоза. Дело в том, что если на более отдаленных от усадьбы полях люпин (в соединении с фосфатами и калийными солями) сполна заменит навоз, то последний будет вывозиться только на ближние поля (особенно под овощные культуры, но также и под хлеба), и если окажется, что среднее расстояние для возки навоза сократится только в 2 раза, то можно себе представить, какую это даст экономию в расходе на горючее при этой трудоемкой работе. Конечно, люпиновый пар годится преимущественно в районах достаточного увлажнения [40*], но запахивание скошенной массы люпина, выращенной на запольном участке, уже не будет оказывать того иссушающего влияния, какое может получиться при выращивании люпина на месте.

В будущем обильным источником семян многолетнего люпина могут стать лесные хозяйства, занимающиеся посадками сосны на песчаных почвах. Опыт Запада достаточно ясно показал, что посев люпина в междурядьях на 5—6 лет без всякого дальнейшего ухода служит хорошим средством подгонки сосны (тогда 20-летняя сосна достигает того же роста, как без люпина 30-летняя), а ежегодный сбор семян с междурядий на молодых посадках является добавочной статьей дохода для лесной дачи и важным источником для снабжения этими семенами сельского хозяйства.

Кроме многолетнего люпина имеются, конечно, и другие мелкосемянные азотособиратели, в том числе и однолетние, но ни один из них не может иметь столь широкого распространения в северной половине

[39*] План этот на деле оказался несколько нарушенным вследствие того, что крайне сухая погода на юге осенью 1944 г. не позволила появиться всходам посеянного люпина; они в значительной части взошли лишь весной 1945 г. Поэтому раннего сбора семян в этом году получено не было. Кроме дальнейших мер в этом направлении, понятно, надо всячески развивать производство семян многолетнего люпина на месте в северных районах. Примером успешного разрешения этой задачи может служить опыт Семеновского района Горьковской области.

[40*] По данным Судогодского опытного поля, после запашки многолетнего люпина в пару необходима последующая двойка (для избежания засорения озими).

пашей равнины. Такова, например, сераделла, количество семян которой при рядовом севе также может опускаться до 30 кг (при разбросном требуется 45—50); она может подсеваться и под хлеба и осенью давать хороший укос зеленой массы, пригодной как на корм, так и на удобрение. Но это хорошо дается на Черниговщине и в Белоруссии, а уже под Москвой осень слишком коротка для пожнивного использования подсевной сераделлы. Во всяком случае, сераделла заслуживает полного внимания в очень обширной полосе и имеет большое преимущество в быстроте развития, так как при подсеве под хлеба она той же осенью дает укос (а отава может быть запахана на удобрение), тогда как клевер и многолетний люпин дадут укос лишь в следующем году.

По подсчетам Е. К. Алексеева, только в Полесье и южной Белоруссии имеется около 1,5 млн. га, на которых уместен посев сераделлы (включая и подсев под хлеба). Но еще бóльшие площади возможной культуры сераделлы в той или иной форме лежат между Белоруссией и югом Горьковской области, однако подсчитывать их сейчас бесполезно ввиду громадного расхождения между потребностью и возможностью обеспечения семенами. Важно их размножить, но тут-то и выступает контраст между однолетними растениями, у которых культура на зеленое удобрение стоит в противоречии с культурой на семена, и многолетним люпином, у которого можно собрать семена и все-таки иметь укос зеленой массы на удобрение.

Кроме того, из числа мелкосемянных однолетних бобовых, пригодных для подсева под хлеба, могут быть интересны: хмелевидная люцерна, часто применяемая в Германии, инкарнатный клевер, культура которого встречается во Франции и Швейцарии, и однолетняя разновидность донника, выведенная в США. Но у нас эти растения менее испытаны, чем люпин и сераделла, однако следовало бы иметь больше семенного материала для их широкого испытания, чем это было возможно до сих пор.

Если мы подчеркиваем большое значение многолетнего люпина и сераделлы, то это не значит, что однолетний люпин не требует внимания,— он сохраняет значение, имея некоторые положительные стороны, которых нет у многолетнего люпина. Так, однолетний люпин может высеваться пожнивно, после уборки ржи в южной Белоруссии и на Черниговщине, затем он представляет интерес как зерновое бобовое, особенно сладкий люпин, дающий ценный концентрированный корм; в то же время корневые остатки люпина, убранного на зерно, обеспечивают хороший урожай следующего за ним картофеля.

Необходимо отметить, что для нашей обширной страны совершенно недостаточно иметь только один западный очаг получения семян люпина и сераделлы — необходимо создать новые очаги в центре и на востоке. Прежде всего нам кажется подходящим для этой цели громадный район песчаных почв, идущий к югу от Мурома по правому берегу Оки и Цны до Моршанска и Тамбова. Здесь можно найти условия для вызревания не только синего (узколистного), но и желтого люпина, и отсюда можно

снабжать семенами и север, где свои семена не вызревают, и крайний юг, где нужны семена для зимних посевов на удобрение, но где не стоит ценные земли тратить на культуру семян. Затем можно думать, что много семян люпина легко получить, когда в их массовом производстве будут заинтересованы сами хозяйства. Примером такой заинтересованности может служить хозяйство на песчаных почвах, если оно основывается на «трех китах» — люпин, картофель и свиноводство.

Мне пришлось видеть за границей в 1927 г. хозяйства на песках, в которых велся массовый откорм свиней исключительно на картофеле и люпине, но в те годы приходилось семена люпина запаривать и промывать для удаления горечи, теперь же, когда имеется сладкий люпин, являющийся ценным источником белков для кормления поросят, эта тягостная операция стала ненужной. В то же время эти два названных растения (люпин и после него картофель) образуют весьма удачную пару в севообороте, так как люпин, убранный на зерно, оставляет не меньше азота в почве, чем люпин, запаханный в цвету (это обнаружили еще прежние опыты Кудрина), а если хозяйство использует и солому люпина, то сумма азота, остающегося в пользу хозяйства, помимо зерна, будет больше, чем при запахивании цветущего люпина. Кстати, опыт Судогодского опытного поля показал, что измельченная солома сладкого люпина, обваренная кипятком, хорошо поедается животными. Так как под Тамбовом и Воронежем можно после раннего картофеля сеять рожь, то на приречных гумозных песках мыслимо, например, такое интенсивное четырехполье: люпин на зерно, картофель, рожь с подсевом сераделлы (пожнивный укос), яровое. Но частные случаи могут быть многообразны, важно, чтобы зерно люпинов не было каким-то раритетом, идущим только на сторону, чтобы его производство имело местное хозяйственное значение, тогда всегда можно будет стимулировать и поставку люпина на семена, зачитывая в известном отношении их сдачу вместо зерна ржи. Этого вне Белоруссии, к сожалению, до сих пор не делалось, и потому, например, Судогодская станция не могла продвинуть в местное хозяйство культуру обыкновенного люпина на семена в Ивановской области, только сладкий люпин заинтересовал колхозников.

Остановимся еще на совершенно новых возможностях применения зеленого удобрения в Средней Азии, где резко изменились условия во время войны, а именно, с одной стороны, хлопковое хозяйство лишилось азотистых удобрений, игравших главную роль в поднятии урожаев хлопчатника, и урожаи сильно понизились, вернувшись к уровню 1930 г. С другой же стороны, в 1943 г. открылись небывалые возможности для широкого применения зеленого удобрения благодаря существенной перестройке севооборотов. До этого хозяйство было пересыщено хлопчатником, посев хлебов на орошаемой площади не допускался совершенно; поэтому хозяйства были лишены соломы, а без соломы нечем было поглощать жидкие выделения скота, в которые переходит весь азот переваримой части люцернового сена. Поэтому навоза было мало, и он был беден

азотом. Отсюда громадная потребность в минеральном азоте в прошлом и недостаток в нем для хлопководства во время войны.

Кроме того, при господствовавшем на орошаемых землях севообороте не было возможности использовать посев озимых азотособирателей. Система посева хлопка по хлопку в течение шести лет подряд не оставляла возможности осуществить этот прием, так как хлопчатник занимает поле до декабря, когда высевать озимый горох слишком поздно, а попытки подсева гороха в междурядья до уборки хлопчатника не были успешны. Но вот с 1943 г. в Узбекистане из 900 тыс. га орошаемых земель, раньше занятых целиком хлопчатником, было отведено под посевы хлебов и сахарной свеклы 300 тыс. га, чем открыта широчайшая возможность культуры озимых азотособирателей, так как не только хлеба, но и сахарная свекла оставляет поле гораздо раньше хлопчатника [41*].

Но наиболее обширное поле для посева озимых азотособирателей открывается на площади, освобождаемой хлебами, причем в случае озимых можно даже думать об осуществлении «трехъярусного посева» и озимую культуру бобовых проводить как третий посев в году. Дело в том, что уборка озимого ячменя наступает под Самаркандом 1 июня, а в Таджикистане и Туркмении — в половине мая, после этого можно снять урожай еще одной продовольственной культуры (картофель, скороспелые сорта джугары и пр.) и все-таки успеть в сентябре или октябре, смотря по широте места, высеять озимый горох. Можно также к озимому хлебу подсеять персидский клевер, взять его летний укос на зеленый корм или сено (что даст лишнее количество молока, которое так необходимо городам Средней Азии), а второй укос пустить в зиму, для запашки на зеленое удобрение весной под хлопчатник. Наконец, имеются данные Гельцер, что известные сорта гороха, при условии полива после уборки зерна, отрастают и дают вновь зеленую массу; тогда возможен раннеиюньский посев гороха на зерно и оставление отавы для запашки на удобрение под хлопчатник в октябре — ноябре или весной.

Что касается размеров действия зеленого удобрения в условиях Средней Азии, то приведем пример из опыта академика Е. К. Алексеева под Самаркандом в 1942 г. Он получил удвоение урожая свеклы (384 ц против 182 на контроле) под влиянием гороха, запаханного на удобрение. В Казахстане получены приросты урожая свеклы в 140—160 ц под влиянием пожнивного зеленого удобрения (Зубрилин) [42*]. Подобным же образом должен отзываться на зеленое удобрение и хлопчатник. Вопрос об особом значении широкого применения озимых посевов азотособирателей

[41*] Частичная уборка свеклы должна начинаться с 15 августа, так как к этому времени содержание сахара в свекле мартовского посева достигает 17%, и гораздо выгоднее пустить заводы в ход раньше, чем потом перерабатывать в марте 10—12%-ную свеклу (на юге свекла хранится хуже, чем на Украине).

[42*] Мы не упоминаем здесь о прежних опытах, при которых растения на зеленое удобрение высевались весной вместо хлопчатника; теперь же интересна только пожнивная или подсевная культура азотособирателей.

для Средней Азии в военное время поднят был мною весной 1943 г., с тем чтобы было время для выписки семян из США. Эти семена не удалось получить к осени 1943 г., но в 1944 г. поступила партия в 4 тыс. т озимого гороха и других азотособирателей, которые пущены в размножение. Если путем размножения довести запасы этих семян до 30—45 тыс. т, то это количество будет достаточным для занятия азотособирателями площади 200—300 тыс. га, что было бы крупным фактором повышения сбора хлопка в Узбекистане.

Если мое предложение, сделанное в 1943 г.,— о посеве озимых азотособирателей после уборки хлебов и свеклы, при всей важности этой меры, касалось лишь одного поля из шести полей хлопчатника, имеющихся в обычных севооборотах, то в 1944 г. я поставил новый вопрос, а именно нельзя ли не ограничиваться однократным применением этого приема, но найти способ повторять его чаще. В связи с этим возникает вопрос о возможности даже 100%-ного насыщения хлопковой площади азотособирателями без сокращения посевов самого хлопчатника.

Поводом к такой постановке вопроса послужили некоторые данные о культуре хлопчатника в Египте. Опыт Египта, конечно, не может быть прямо распространен на весь хлопковый пояс, но из его рассмотрения могут возникнуть некоторые вопросы, заслуживающие внимания наших опытников.

Основной вопрос, меня заинтересовавший, состоит в следующем: в некоторых частях Египта, особенно в дельте Нила, имеет место повторный посев хлопчатника на той же самой площади, и тем не менее это нельзя назвать монокультурой, потому что посевы хлопчатника отделены один от другого посевом александрийского клевера, дающего несколько укосов в течение «зимнего периода», причем последний укос не используется на сено, но запахивается в качестве зеленого удобрения. Этим клевером в Египте занято около 520 тыс. га, а под хлопчатником имеется 770 тыс. га, т. е. почти весь хлопчатник высевается по клеверу. Частично при такой же двухсменности там возделывается и другая пара: кукуруза и пшеница, но для нас важно установить, что хлопчатник, как правило, высевается по запаханному клеверу и это является для него главным источником азота.

Может ли что-нибудь подобное иметь место у нас? Нельзя ли иметь хотя бы один укос бобовых между каждыми двумя посевами хлопчатника? До сих пор казалось, что нельзя, так как опыты с подсевом озимого гороха под хлопчатник не дали удовлетворительных результатов. Однако не следует складывать руки и считать вопрос исчерпанным, необходимо испытать разные азотособиратели, различные способы и время посева. Что сдвиг в этом отношении возможен видно из статей В. Г. Петрова[43*] относительно подсева озимой пшеницы к хлопчатнику, что раньше также не приводило к хорошим результатам, но теперь, судя по сообщенным

[43*] См., например, «Совхозное производство», № 7, 1944.

в названных статьях данным, вопрос этот все же удается разрешить, если взять подходящий сорт (одна из форм Graecum) и изменить время посева — сеять пшеницу по междурядьям хлопчатника довольно рано — в августе.

Это дает повод предположить, что из богатого видами семейства бобовых тоже можно найти однолетние формы, пригодные для подсева под хлопчатник. Если александрийский клевер может быть интересен только для Таджикистана и Туркмении, то для Узбекистана следует обратить внимание, например, на пажитник (Trigonellafoenum graecum), разводимый с успехом в качестве кормовой культуры в Азербайджапе под именем шамболы. Эта культура сосредоточена в Нахичеванском крае, где занимает довольно видное место в полеводстве. В литературе имеется мало сведений по технике культуры этого растения, но все же находим следующие характерные строки в статье Серпуховой [44*] «...благодаря очень короткому вегетационному периоду она может быть использована в уплотненных севооборотах как пожнивная культура на корм и зеленое удобрение и является хорошим предшественником для ценных технических культур (хлопок, табак). Пожнивная озимая культура шамболы встречается во Франции».

Ясно, что культуру этого растения интересно испытать в Средней Азии путем подсева под хлопчатник и в качестве пожнивной культуры.

Затем может представить интерес инкарнатный клевер, высеваемый в Южной Европе в смеси с озимой рожью для получения самого раннего корма весной. Шабдар должен быть испытан не как «вообще шабдар», а во всем разнообразии его рас, имеющихся в Иране и Афганистане; так же должны быть испытаны и другие однолетние формы бобовых, имеющиеся в ботанических садах (наших и иностранных) или в дикой форме.

Введение азотособирателей этого типа является очень важной мерой замены недостающих азотистых удобрений и навоза, причем этот путь свободен от некоторых дефектов, которые характерны для навоза и особенно дают себя чувствовать в Средней Азии. Здесь весь азот удобрений попадает в почву без всяких потерь, а кроме того, не требуется вывозки; это есть навоз, растущий на том самом поле, которое нуждается в удобрении, и к тому же не требуется и подстилки для изготовления удобрения.

Если бы удалось найти бобовое, которое допускает подсев под хлопчатник по способу В. Г. Петрова, то этот прием можно проводить методически и тем обеспечить хорошие урожаи хлопчатника даже при временном отсутствии минеральных азотистых удобрений. Предположим (ради краткости обозначения), что этим самым азотособирателем будет пажитник; тогда этот гипотетический севооборот принял бы такой вид: 1) ячмень с подсевом люцерны; 2) люцерна; 3) люцерна; 4) и 5) хлопчат-

[44*] В. Н. Серпухова. Пажитник (шамбола).— Растениеводство СССР, т. II. Изд. ВИР, 1933, стр. 457—476.

ник+пажитник; 6) хлопчатник+озимь; 7) озимь+летние пожнивные культуры+пажитник; 8) и 9) хлопчатник+пажитник.

Нужно думать, что пять посевов пажитника и три года люцерны, даже если принять во внимание только ее корневые остатки, могли бы обеспечить достаточным количеством азота пять урожаев хлопчатника. Можно идти еще дальше в предположениях и допускать, что пара «хлопчатник+пажитник» может повторяться без ущерба не только два года подряд, но и больше, что позволило бы увеличить процент площади под хлопчатником без снижения его урожаев, но для этого надо *иметь в руках такой сидератор* (будет ли это пажитник, или инкарнат, или «александриец»), который мог бы *с успехом подсеваться с осени под хлопчатник и накоплять к весне в зеленой массе до 100 кг азота.*

Чем удачнее будет разрешена эта задача, тем полнее мы будем застрахованы от падения урожаев хлопчатника в периоды недостатка минеральных удобрений. Но не только при недостатке азотистых удобрений, а и в дальнейшем, когда минеральные удобрения будут в изобилии, *необходимо все-таки сохранить культуру зимних азотособирателей,* тем более что их можно использовать не только на зеленое удобрение, но и для *зимней подкормки скота*, особенно молочного, количество которого в Средней Азии требует увеличения и который так нуждается в белковых кормах. Вообще с помощью озимых культур разного рода (зерновых, кормовых и сидератов) важно использовать добавочную солнечную энергию, которая в Средней Азии довольно обильно притекает не только осенью, но и весной (до посева хлопчатника), но уловить которую может только растение, еще с осени заготовившее ассимилирующую поверхность; поэтому следовало бы вообще не оставлять на зиму поля незасеянными [45*].

В Закавказье условия для озимой культуры бобовых на удобрение еще более благоприятны: во влажных субтропиках зимой нет морозов, обычных в Узбекистане. Например, если в Сухуми выпадает иногда снег в январе, то он падает на цветущие розы, не принося им вреда, так как он быстро тает. Затем в этих районах осадки столь обильны, что орошения не требуется. До сих пор применение зеленого удобрения на юге имело место главным образом на плантациях чая и цитрусовых, теперь же обращено внимание (Кулжинский) и на значительные площади кукурузных полей, которые пустуют с сентября или октября до начала мая; а между тем на них можно за это время вырастить от 50 до 100 т зеленой массы на гектар, особенно если применять фосфоритную муку и калийную соль. При больших урожаях вполне возможно часть массы употреблять в корм скоту и все-таки получать хороший урожай кукурузы за счет запахивания остальной массы. Кроме того, возможно получение весной ценной

[45*] Конечно, для получения четкого ответа на поставленный вопрос нужна дополнительная экспериментальная его проработка. Но положительное решение было бы очень заманчиво и работа в этом направлении является настолько благодарной, что она должна привлечь к себе внимание среднеазиатских опытников.

пищевой продукции, а именно, убрав «зеленые лопатки» раннего гороха, остальную массу запахать на удобрение или использовать для кормления животных. Кроме озимого гороха, заслуживают внимания мелкосемянные бобовые, требующие меньше посевного материала, как, например, однолетние клевера: инкарнатный, персидский и александрийский [46*], на кислых же почвах Закавказья, в отличие от карбонатных почв Средней Азии, возможна культура сераделлы и люпина, причем и многолетний люпин найдет свое место, например, для закрепления крутых склонов между террасами на чайных и цитрусовых плантациях. Кроме получения зеленой массы на корм и удобрение, зимняя культура азотособирателей в Закавказье еще очень важна как средство борьбы с эрозией, принимающей особенно большие размеры там, где годовое количество осадков достигает 2000 мм.

Кукурузные районы могут сами себя обслужить посевным материалом, но потребность в семенах люпина, сераделлы и гороха для культуры на цитрусовых и чайных плантациях лучше удовлетворить за счет привоза их с севера, чтобы не отнимать ценных площадей от южных культур.

Итак, если для начала можно было увеличивать резервы семян бобовых путем выписки из-за границы, то в интересах следующих лет необходимо немедленно принять ряд систематических мероприятий по развитию новых очагов семеноводства ценных азотособирателей, которые помогут нам расширить земледелие на севере и поддержать урожаи хлебов и картофеля в центре, а в субтропиках — обеспечить хорошие урожаи таких важных технических и пищевых культур, как хлопчатник, чай, цитрусы.

В субтропиках мягкий климат благоприятствует вставочной культуре азотособирателей, а в континентальной Сибири имеется другое обстоятельство, также открывающее широкие возможности для применения зеленого удобрения,— это наличность паровых полей перед яровой пшеницей. К этому присоединяется еще и трудность вывозки навоза, часто создаваемая дальностью расположения полей от усадьбы и гористым характером местности, особенно в Восточной Сибири. Что касается выбора растений для зеленого удобрения, то те причины, которые препятствуют распространению однолетнего люпина на севере европейской части СССР и приводят к мысли о замене его люпином многолетним, в Сибири еще более выражены. Сюда относится возможность выращивания своих семян и гораздо бо́льшая их транспортабельность. Конечно, в Алтайском и Минусинском краях возможна культура и однолетнего люпина на семена, но и там возможность обойтись 30 кг вместо высева 180—200 кг часто может играть решающую роль. В ряде случаев полезным окажется донник, который не годится для кислых почв, но на почвах солонцеватых и слабощелочных будет более пригоден, чем люпин, для посева под яровые и запахивания на следующий год в паровом поле (опасения, что донник

[46*] В этих условиях вполне осуществим вышеупомянутый «египетский плодосмен»: зимой — азотособиратель, летом — кукуруза.

будет засорять поля, не должны иметь места, надо лишь не допускать плодоношения).

Итак, в самых разнообразных климатических и почвенных условиях есть возможность использовать зеленое удобрение как прием, позволяющий в ожидании восстановления и расширения посева клевера и восстановления животноводства более быстро ввести в оборот хозяйства громадное количество азота и тем способствовать поднятию урожаев и хлебов и ряда технических культур. Но нужно иметь в виду, что даже и тогда, когда площадь под клевером достигнет 25% посевной площади в подзолистой полосе, нет смысла отказываться от применения зеленого удобрения под озимые, с тем чтобы навоз, полученный от скармливания клевера, направить под картофель, сахарную свеклу, коноплю, табак и другие ценные культуры.

Из числа источников азота нам остается еще указать на необходимость более широкого использования азота городских отбросов и азота торфа.

Общее содержание азота в отбросах человеческого организма для будущего населения нашего Союза в 230 млн. человек можно принять равным 1100 тыс. т. Это было бы крупной статьей, в несколько раз превышающей размеры довоенного уровня нашей азотной промышленности, если бы эти отбросы не было так трудно собирать. В городах они уходят в канализацию, а в деревнях большой процент их разбрасывается где попало. Очень трудно сказать, какую часть из них удастся использовать. Ясно лишь одно, что при недостатке удобрений вообще нельзя игнорировать большие возможности, которые представляет этот источник азота, особенно при одновременном использовании торфа. Распространение приема приготовления торфофекальных компостов в населенных пунктах, не имеющих канализации, важно не только с точки зрения сохранения азота, но и с точки зрения санитарии. Там, где нет торфа, экскременты следует компостировать с землей [47*].

Предпочтение перед компостированием, дающим громоздкий продукт, заслуживал бы другой путь, приводящий не только к обеззараживанию нечистот, но и к получению ценного концентрата, богатого азотом и содержащего заметное количество фосфора,— это хлорирование фекальных масс и их высушивание на дисковой сушилке [48*], но этот способ применим лишь в том случае, если расходы на топливо не входят целиком в стоимость пудрета, а частично покрываются городом (по статье обезвре-

---

[47*] В качестве хорошего примера использования фекальных масс на нужды земледелия при одновременном разрешении вопроса об их удалении из населенных мест приведем следующий случай, имевший место в одном из небольших городов Средней Азии. Окрестные колхозники взяли на себя заботу о городских уборных,— когда яма заполняется нечистотами, они рядом выкапывают вторую, и на нее переносится навес. В первую же яму добавляется земля. Этот компост зреет в течение нескольких месяцев, после чего вывозится на поля масса, уже совершенно лишенная запаха.

[48*] С. П. Гусев (диссертация).

живания и удаления нечистот). Но есть условия, при которых приготовление пудретов может вестись за счет солнечного тепла. Это следовало бы осуществить, например, в Средней Азии, где города, как правило, не имеют канализации, а климатические условия обеспечивают бездождье и сильный солнечный нагрев в течение летнего полугодия. Можно представить даже возможность получения сернокислого аммония, если бы жидкие выделения из общественных уборных собирались тонким слоем в плоских вместилищах с зачерненным дном и туда же вводились кислые отбросы (например, серная кислота с протравочных цехов хлопкоочистительных заводов или бисульфат), а затем концентрированный раствор спускался бы в защищенные от солнца резервуары для кристаллизации сульфата аммония. Точно так же солнечный нагрев мог бы быть использован для приготовления пудрета из обычной смеси нечистот при условии предварительного хлорирования. Тогда сразу достигалось бы несколько целей — сохранение аммиака, обеззараживание и устранение зловония. Но и там, где химические методы воздействия недоступны, солнце Средней Азии позволяет применить ряд приемов частичного или полного использования фекальных масс с бо́льшим успехом, чем где бы то ни было [49*].

Что касается торфа, то, кроме применения в подстилку и повышения, таким образом, качества навоза, при одновременном увеличении его количества важным является приготовление торфяных компостов с введением разнообразных веществ, помимо фекалий, как, например, навозной жижи, птичьего помета, сорных трав, барды (если она неполно используется для кормления) с добавкой золы, особенно в случае применения кислого торфа, прудового ила и пр.

При приготовлении торфофекального удобрения в него входит еще азот торфа, а частью торф как таковой применяется на удобрение. Но нужно сказать, что азот торфа нельзя механически причислять к азоту фекальных масс, так как азот торфа гораздо труднее подвергается минерализации; поэтому едва ли стоит пытаться подсчитывать усвояемую часть азота торфа, но можно сделать приблизительное допущение, что суммарно с помощью фекальных масс и торфа мы легко сможем дать дополнительно около 500 тыс. т легкоминерализующегося азота.

В итоге можно сделать заключение, что *мы располагаем огромнейшими возможностями как вообще для радикальной перестройки азотного баланса в нашем земледелии, так и для немедленного уменьшения особенно обострившегося в условиях военного времени дефицита азота* [6].

[49*] Сюда относится прежде всего раздельное собирание жидких и твердых выделений, с тем чтобы только первые стекали в яму, а вторые высыхали без всякой примеси. Но более полное использование тех и других возможно при замене ям надземными устройствами с постоянной присыпкой выделений лессовой почвой, прекрасно поддающейся тонкому измельчению, что позволяет уменьшить количество вводимого балласта (П. Я. Гуров).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как это явствует из всего сказанного выше, разрешение проблемы азота должно состоять в сочетании двух путей: 1) повышение обеспеченности минеральными удобрениями прежде всего технических культур и 2) максимальное использование биологического азота за счет расширения культуры азотособирателей, лучшей организации накопления и применения навоза и мобилизации других местных ресурсов удобрений (торф, фекалий и т. д.). При этом на различие в системе удобрений при возделывании технических растений и при культуре хлебов нужно смотреть отнюдь не как только на временное явление, зависящее от того, что наша молодая химическая промышленность не может дать столько же удобрения хлебам, как хлопчатнику или свекле. Ясно, что по причинам экономическим и впредь останется основное различие в этом отношении между такими культурами, площадь под которыми ограничена (хлопчатник, чай) и для которых мы можем существенно изменить только один множитель (высоту урожаев), и такими культурами, как хлеба и клевер, для которых мы можем менять оба множителя (площадь посева и урожаи), определяющих валовой сбор продуктов.

Но, конечно, мы говорим о двух противоположных способах построения системы удобрения только ради первого приближения, на самом деле здесь имеется ряд переходов. Так, на одном конце этого многоцветного спектра будет стоять безнавозное хозяйство чайных и цитрусовых плантаций, где для борьбы с эрозией и для накопления органического вещества нужно, конечно, прибегать к сидерации, но в основе снабжение растений минеральной пищей должно строиться на внесении промышленных удобрений. В хлопковом хозяйстве наряду с большим значением минеральных удобрений уже выступает важная роль люцерны, появляются скот и навоз. В большей мере сдвиг в сторону навоза имеет место в свекловичном хозяйстве, и еще больше этот сдвиг будет в северном земледелии, где зерновые чередуются с клевером и картофелем; здесь будет сильный уклон в сторону «сверхнавозного» хозяйства (однако лен будет получать минеральное удобрение). Но если чайные плантации на юге и молочное хозяйство на севере являются контрастами, то с ними обоими контрастирует на востоке степное хозяйство неорошаемой части Казахстана, Киргизии и Западной Сибири, где даже навоз еще недостаточно используется для удобрения. В безлесных степных районах одной из помех является трата навоза на приготовление топлива (кизяка), а в лесных и гористых местностях Восточной Сибири выступает другое препятствие — трудность вывозки навоза на участки пашни, разбросанной среди тайги, что заставляет думать о применении там зеленого удобрения. Так иногда могут сходиться в известных отношениях крайности — влажные субтропики и континентальная Сибирь.

Между названными контрастирующими типами будет лежать, конечно, целая гамма переходов в построении системы удобрения в связи с мно-

гообразием условий в разных частях нашей родины. Когда мы говорим о желательном среднем урожае или о среднем балансе внесения и выноса питательных веществ из почвы, надо иметь в виду, что средние эти слагаются из весьма разнообразных компонентов.

Кроме того, само собой разумеется, что при наших предположениях, касающихся $^1/_6$ суши, приходится прибегать к некоторой общей схеме. Но от нее в отдельных случаях будут наблюдаться отступления. Так, известная часть азотистых удобрений может быть снята с технических культур и передана орошаемым хлебам, ибо большие затраты на орошение нужно окупать высокими урожаями. Точно так же культура злаковых на Крайнем Севере связана с применением азотистых удобрений.

Однако все это не меняет основного направления в разрешении азотного вопроса на громадной площади зерновых культур.

В заключение я хотел бы остановиться на следующем: сейчас мы проектируем в качестве ближайшей перспективы план азотного баланса, в основном базирующийся на расширении культуры азотособирателей, на азоте биологическом, а в задании химической промышленности исходим из минимальной потребности технических и других более ценных культур в минеральных азотистых удобрениях. Однако это вовсе не значит, что мы ставим тем самым какие-то ограничения для возможности дальнейшего, более высокого роста химической азотной промышленности и применения минеральных азотистых удобрений. Этот план следует рассматривать как один из этапов на пути к дальнейшему росту, в процессе которого мы сможем и должны будем далеко опередить считавшиеся раньше развитыми в техническом и экономическом отношениях капиталистические страны. Дело в том, что отвечающий нашему плану размер продукции химической промышленности [50*] даже в пределах спроектированного баланса, значительно превышает сумму довоенной продукции не только такой, например, страны, как Германия, но и Германии и Японии, вместе взятых. Однако намеченный рост продукции в СССР еще не означает насыщения сельского хозяйства туками, тогда как в названных странах отсутствует основа дальнейшего крупного роста химической промышленности в будущем вследствие значительного насыщения туками современной посевной площади и недостатка в земельных ресурсах для расширения этой площади. У нас же, помимо возможности расширения пашни, остаются, даже при существующей посевной площади, громаднейшие возможности для расширения применения удобрений в будущем — это площадь под зерновыми хлебами. А когда азотная продукция будет обслуживать и хлеба, размеры нашей азотной промышленности превзойдут по мощности не только суммарную мощность заводов европейских стран, но они смогут конкурировать и с мировой промышленностью, если бы это оказалось нужным [7].

[50*] Это относится к сумме минеральных удобрений, а не только к одному азоту.

ОБМЕН АЗОТИСТЫХ ВЕЩЕСТВ И ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ *

Глубокий теоретический интерес исследований в области обмена азотистых веществ в растениях сочетается с большим практическим значением [8]. Вопросы об источниках азота у растений, о формах соединений азота, доступных растениям, о роли азотистого питания в жизни растения всегда были одними из основных, узловых вопросов агрохимии и тех разделов физиологии растений, которые имели ближайшее отношение к практическим задачам земледелия, к проблеме поднятия урожаев.

«Немного найдется явлений,— говорил К. А. Тимирязев,— где бы так ясно определилась взаимная роль теории и практики, как в тех исследованиях, в которых научные вопросы о происхождении азота у растений неразрывно сливались с чисто практическими вопросами о пользе возделывания клевера и вообще бобовых». Это положение Тимирязева, высказанное им более 50 лет назад, не только блестяще подтвердилось, но теперь должно быть значительно расширено. Наряду с «биологическим азотом» клевера важнейшим фактором поднятия урожаев стал «азот технический». Развитие синтетической азотной промышленности, ставшее подлинным триумфом теоретических достижений общей химии, открыло новые, широчайшие возможности повышения урожая путем регулирования условий азотистого питания культурных растений.

В этих условиях чрезвычайно возросло значение теоретических исследований, дающих прочную научную основу для разработки практических мероприятий в деле производства и применения азотистых удобрений — одного из наиболее мощных средств химизации земледелия.

Нашей отечественной, советской агрохимии и физиологии растений принадлежит видная роль в развитии современных научных представлений в области азотистого питания и обмена азотистых веществ в растениях. Автору настоящих строк пришлось принимать непосредственное участие в решении ряда принципиальных вопросов, относящихся к этой проблеме, в течение более чем полустолетнего периода, основная часть которого приходится на время после Великой Октябрьской социалистической революции.

Подводя некоторые итоги проведенной работы, хотелось бы указать прежде всего на то значение, которое в ее развитии имели определенные руководящие представления, помогавшие правильно понимать отдельные добытые экспериментом факты, устанавливать связь между ними и указывать правильный путь для дальнейших экспериментов. Укажу

---

* Работа напечатана в «Юбилейном сборнике, посвященном 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции», ч. II, 1948.

здесь на две такие направляющие мысли, оказавшиеся чрезвычайно плодотворными при изучении проблемы азотистого питания растений, но имеющие вместе с тем и более общее значение.

Первая из них касается *тесной взаимной связи между внешними условиями питания и внутренними процессами обмена веществ у растений.* Внутреннее состояние растения, направление и интенсивность процессов обмена веществ в нем, в значительной степени определяют его отношение к условиям внешней среды, способность растения использовать тот или другой источник питания, притекающий извне. С другой стороны, изменение условий внешней среды, например формы или интенсивности азотистого питания, соотношения и концентрации других элементов, способно оказать глубокое влияние на характер обмена веществ внутри растения. Только на пути познания этой взаимной связи и обусловленности между внутренним состоянием организма и внешней средой мы можем получить правильное представление о значении условий питания для жизни растения и надежное теоретическое обоснование таких приемов воздействия на растение, которые имеют целью изменять не только высоту урожая, но и его химический состав.

Вторая общая мысль, к которой автор неизменно обращался, начиная с первых своих шагов в изучении обмена азотистых веществ у растений, состоит в том, что существуют общие, сходные черты в обмене азотистых веществ у всех организмов. Представление о некотором параллелизме, *единстве основных превращений азотистых веществ у животных и растений* не раз с успехом служило отправным пунктом для построения рабочих гипотез при исследованиях в области физиологии растений и сыграло большую роль в установлении ряда принципиальных положений. Мы уверены, что этот источник для новой постановки вопросов о разных сторонах обмена веществ в растении еще далеко не исчерпан.

Обращаясь к истории развития учения об азотистом обмене у растений, мы можем видеть, как отношение именно к этому общему представлению, признание общих черт в обмене азотистых веществ у животных и растений направляло мысль исследователя по правильному пути и, наоборот, их отрицание вело к ошибочным заключениям и заблуждениям.

Существуют два основных типа, два направления превращений азотистых веществ в растении: 1) при восхождении от простейших соединений к более сложным преобладает синтетическое направление; 2) при регрессивном метаморфозе, с превращением сложных веществ в более простые, преобладают процессы распада и расход вещества и энергии берет верх над приходом. Первый тип преобладает в зеленых ассимилирующих растениях при развитии их на свету; второй берет верх у тех же растений при развитии в темноте, а для бесхлорофильных растений он является общим правилом.

Сто лет назад (1841) Буссенго и Дюма указали на то, что растение,

развивающееся в темноте, уподобляется животному организму; в нем преобладают окислительные процессы, выделяются углекислота и вода, образующиеся за счет сгорания углеводов. Но Буссенго затем провел аналогию и дальше, распространив ее на превращения белковых веществ. Он говорил, что, подобно тому как у животных часть белка превращается благодаря окислительному процессу дыхания в кристаллическое азотистое вещество — мочевину, которую и находят в выделениях, так и в растениях, лишенных выделительных органов, находят в клеточном соке другое кристаллическое вещество — аспарагин, который есть так же амид, как и мочевина, и который так же легко превращается в аспарагиновокислый аммоний, как мочевина в углекислый аммоний. Но так как аспарагин не выделяется наружу, то в последующем, когда растение развивает листья и процессы восстановления возьмут верх над окислением, аспарагин исчезает, потребляясь в процессе синтеза белков.

Однако дальнейшее развитие этого вопроса пошло по типу гегелевской триады, и за тезисом Буссенго последовал антитезис Пфеффера, который отрицал всякую общность превращения белков в растительном и животном организме и утверждал, что превращение белка в растении вовсе не начинается с гидролитического распада белков и с самого начала идет иначе, чем в животном организме под влиянием пепсина и трипсина. Пфеффер считал аспарагин первичным продуктом распада белков в растении, такой же транспортной формой для них, какой глюкоза является для крахмала, полагая, что аспарагин и глюкоза образуются в семядолях и затем, как легко диффундирующие вещества, проникают к точкам роста и служат там для образования белков в молодых органах. Этот взгляд Пфеффера, развитый им в 70-х годах, стал общепринятым в ботанических кругах, особенно в Германии, где он господствовал до начала текущего столетия (1915).

Но в 80-х и 90-х годах, благодаря работам агрохимической лаборатории Э. Шульце в Цюрихе, был накоплен большой фактический материал, который шел вразрез с утверждениями Пфеффера.

Автором настоящей статьи, который был тогда сотрудником Шульце (1893—1894), были получены данные, противоречащие гипотезе Пфеффера. Мне пришлось в то время (1894) выступить в качестве пионера в борьбе с неправильной теорией Пфеффера и положить начало третьей стадии развития вопроса — стадии синтетической, причем я вернулся к исходной мысли Буссенго о параллелизме между образованием аспарагина у растений и мочевины у животных, но уже не на основе только общих соображений, а исходя из суммы вполне определенных фактов — как добытых Шульце (главным образом), так, частично, на основе собственных работ с прорастающими семенами Vicia sativa**. В 1897 г. мне

** О значении моих работ того времени см. подробнее в кн.: Chibnall. Protein Metabolism in the plant (1939), где показано, что, при полном согласии с взглядами Шульце на основные процессы распада белка в растении, я пошел своим путем в вопросе об аналогии между аспарагином и мочевиной.

удалось окончательно установить, что аспарагин образуется не первичным путем из белков (как утверждал Пфеффер), а вторичным — за счет обычных аминокислот (аминовалерьяновая, лейцин и пр.), получающихся при гидролитическом распаде белка; но если из аминокислот, содержащих одну группу NH_2, получается аспарагин, содержащий две такие группы (в аминном и амидном положении), то ясно, что в образовании аспарагина должен участвовать аммиак.

Прямое доказательство участия аммиака в этом процессе было затем дано работой В. С. Буткевича, выполненной в моей лаборатории (1904). Им было показано, что при анестезии (введение толуола), подавляющей синтез аспарагина, в прорастающем растении накопляется аммиак.

Эти исследования над обменом азотистых веществ при прорастании семян выявили *роль аммиака в синтезе* аспарагина и послужили основой для важного принципиального положения относительно *физиологической оценки аммиачных солей как источников азотистого питания для растений*. На самом деле, если «собственный» аммиак растения легко превращается в органическое соединение азота, то почему бы оно могло иначе относиться к аммиаку, поступающему извне? Ясно, что, каково бы ни было происхождение аммиака, раз есть механизм для его использования, то при надлежащих условиях аммиак, который мы дадим растению извне, должен точно так же быть хорошим источником для синтеза аспарагина, а затем и синтеза белков в растении (так как было показано, что азот аспарагина накопляется при прорастании, а затем на свету, когда ассимиляция становится достаточно энергичной, идет на образование белковых веществ). Фактически образование аспарагина за счет введенного извне аммиака было доказано затем рядом работ в моей лаборатории (Шулов, 1909; и др.). В дальнейшем у нас была выполнена большая серия исследований по изучению различных источников азотистого питания растений (аммиачного, нитратного, нитритного), в которых было показано, что при устранении физиологической кислотности солей *аммиак быстрее используется для синтеза органических азотистых соединений, чем нитраты*, причем последние после восстановления до аммиака также дают начало образованию аспарагина.

Полученные результаты — и в собственных работах, и в работах других лиц — дали основание автору уже в 1916 г. формулировать общий вывод о том, что аммиак в растительном организме, как и в животном, является *«альфой и омегой в обмене азотистых веществ»*.

К тому времени число общих черт в обмене азотистых веществ у растений и животных сильно возросло. Было установлено, что в том и другом царстве для обезвреживания аммиака низшие формы довольствуются нейтрализацией его выделяемыми кислотами, а высшие формы требуют обезвреживания аммиака путем перевода его в амидную форму. Так, при учете обмена веществ у грибов Буткевич показал, что у Aspergillus возможность накопления аммиака связана со способностью этого гриба к образованию щавелевой кислоты; если же ввести мел, то распад

белков не доходит до аммиака. С другой стороны, среди высших растений, не терпящих накопления иона аммония в клеточном соке, позднее нашлась особая группа с очень кислым соком — pH 1,5—3,5 (Рулянд, 1936), которая настолько способна выносить значительные количества аммиака в клеточном соке, не прибегая к образованию амидов (аспарагина или глютамина), что входящие в нее растения получили даже название «аммиачных» (Begonia, Oxalis, Rumes и др.).

В животном царстве мы также имеем группы организмов, отличающихся высоким содержанием аммиака в выделениях. При этом характерно, что большее количество азота выделений падает на долю аммиака преимущественно у организмов, стоящих на низких ступенях эволюции, как это видно из следующих данных [3*].

Из всего азота жидких выделений на аммиак приходится (в %):

У актинии	100	У каракатицы	18,6
У пиявки	62–67	У гуся	25,0
У ракообразных	28–38	У ехидны	7,5
У Ascaris	33,3	У собаки	4,3

При этом интересно отметить, что у мясной мухи (Calliphora) в стадии личинки в выделениях преобладают аммиак (69—82% от всего азота) и амины, но после закукливания выделение аммиака прекращается и появляется мочевая кислота.

Дальше обнаружилось, что мочевина хотя и считается характерной особенностью животного царства, все-таки встречается и у некоторых грибов, иногда в больших количествах, как показали исследования Н. Н. Иванова для Lycoperdon, Bovista и Psalliota; кроме того, удается, введя аммиак, повысить образование мочевины, а введя глюкозу, понизить его [4*].

Кроме нахождения в обмене веществ у растений общих черт с животным организмом, постепенно увеличивалось число фактов параллельного ряда, именно — обнаружение у животных (хотя бы и в подавленной форме) тех синтетических реакций, на которые раньше считались способными только растения. Так, если говорить о преобладающем типе, то животное не синтезирует аминокислот, а получает их готовыми с белками пищи; оно только распускает «кружево» чужого белка и вяжет свое собственное из компонентов белков пищи. Однако животное не утратило способности и к синтезу аминокислот за счет аммиака, только для этого нужно ввести в организм соответственные уловители аммиака, каковыми являются кетонокислоты (Эмбден). Мало того, животный организм не

[3*] Подробнее см.: Х. С. Коштоянц. Основы сравнительной физиологии. М., 1940.
[4*] Н. Н. Иванов. Biochemische Zeitschrift, 1927.

утратил даже еще способности к восстановлению нитрогруппы. Так, при введении нитрофенола получается аминофенол, что аналогично обычному для растения восстановлению нитратов до аммиака. Эта все более выясняющаяся близость основных черт обмена азотистых веществ в обоих царствах природы побудила меня, в некоторых случаях с успехом, строить гипотезы для работы с растениями исходя из данных физиологии животных.

Ознакомившись ближе с некоторыми работами по образованию мочевины в тканях печени за счет солей аммония, при которых бикарбонат оказался наилучшей формой, автор решил пересмотреть вопрос об отношении растения к соединениям аммиака с углекислотой, которые считались наиболее ядовитыми из всех солей аммония. Но когда автор применил вместо $(NH_4)_2CO_3$ раствор NH_4HCO_3, доведенный с помощью добавления CO_2 до pH 6,5, то эта соль оказалась лучшим источником для введения аммония в растительный организм не только по сравнению с NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$, но и по сравнению с $NH_4H_2PO_4$, а в присутствии иона кальция рост растений при аммиачном питании не уступает росту при питании раствором $Ca(NO_3)_2$. Далее, выявилась полная аналогия между поведением ростков люпина и ткани печени при введении таких солей аммония, как $(NH_4)_2SO_4$; именно, ион SO_4 не только мешает использованию вводимого NH_4 для синтеза амидов (и мочевины и аспарагина), но при этом еще наблюдается подавление синтеза амидов и за счет «собственного» аммиака тканей как растительных, так и животных. Тогда автор испытал обратный путь — на основании известных ему фактов из области растительной физиологии предсказать поведение тканей животного организма под влиянием такого же воздействия.

Из прежней работы В. С. Буткевича, проведенной в моей лаборатории [5*], было известно, что под влиянием анестезирующих веществ на проростки люпина прекращается синтез аспарагина за счет собственного аммиака и происходит накопление NH_4HCO_3. С другой стороны, наблюдался полный параллелизм в действии $(NH_4)_2SO_4$ на ткани печени и проростки люпина. Отсюда я заключил, что нужно ожидать подавляющего действия анестезирующих веществ на синтез мочевины в печени, в связи с чем должно возрастать количество аммиака в моче. Я обращался к физиологам (между прочим, к Абдергальдену) с предложением поставить соответственные опыты. Однако раньше, чем была достигнута договоренность в этом отношении, появилась работа Лефлера, вполне подтверждающая мои ожидания: оказалось, что умеренная доза хлороформа

[5*] Интересно напомнить, что и самая работа Буткевича с действием анестезии на ростки люпина возникла из идеи единства превращения азотистых веществ у растений и животных; именно, исходным пунктом послужила мысль Клода Бернара, что анестезирующие вещества подавляют преимущественно процессы синтеза, не задевая процессов распада. Эта мысль крупного представителя животной физиологии нашла блестящее подтверждение в опытах Буткевича с проростками люпина.

снижает количество образующейся мочевины, а повышенная доза совершенно прекращает ее образование [6*].

Стремясь построить общую схему превращения азотистых веществ в растениях, которая охватывала бы как «восходящий» ряд превращений, типических для растений, так и нисходящий ряд с преобладанием явлений распада, общего для растения с животным организмом, я прибег (1926) к следующему изображению (см. рис. 5, на стр. 46). Представим себе круг, левая половина которого отвечает «восходящему» ряду,— переходу от низших форм к высшим, как это бывает при развитии растения на свету; тогда при движении снизу вверх мы прежде всего имеем образование аспарагина за счет аммиака (все равно — «своего», или непосредственно поступившего извне, или образовавшегося при восстановлении нитратов в растении), а затем переход от аспарагина к аминокислотам и от них к белкам.

Правая половина отвечает нисходящему ряду превращений (регрессивный метаморфоз), имеющему место при жизни высших растений в темноте (а у бесхлорофильных растений, как и у животных, являющемуся правилом). В то время когда создавалась эта схема, явления переаминирования не были известны, но ясно было, что в восходящей части имеет место массовый переход от амидного азота к аминному, причем скрытое участие аммиака в образовании последнего и было автором отмечено черным кружком [7*], поставленным и в нисходящей части, но внешне невидимое участие аммиака при этом переходе от аминного азота к амидному было уже вскрыто ранее упомянутыми опытами с анестезией, проведенными в лаборатории автора В. С. Буткевичем.

В период создания упомянутой круговой схемы мы особенно подробно изучали стадии образования аспарагина за счет аммиака, поступившего извне. При этом было строго установлено, что синтез этот происходит в темноте, однако на нем резко сказывается степень обеспеченности проростков углеводами, а именно в этом отношении наметились следующие три группы растений:

1. Растения, проростки которых при питании растворами аммиачных солей (например, 0,05—0,1% NH_4Cl или $(NH_4)_2SO_4$) легко образуют аспарагин. Аммиак при этом в растениях не накопляется. Типичный пример — зерновые злаки; в их этиолированных проростках весь поглощенный азот учитывается в виде вновь образовавшегося аспарагина.

[6*] Löfler. Biochemische Zeitschrift, Bd. 150, S. 421.

[7*] Теперь ясно, что аммиак, отщепляющийся при гидролизе амидной группы аспарагина, связывается с безазотистыми продуктами окисления углеводов — оксалоуксусной и фумаровой кислотами, а аспарагиновая кислота (как вновь образующаяся, так и остаточная) является донатором группы NH_2 при образовании цепей всего ряда аминокислот за счет кетонокислот.

2. Растения, семена которых не столь богаты углеводами (горох, вика). Введение солей аммония с сильными кислотами или не вызывает увеличения содержания аспарагина (вследствие подавления роста кислой реакцией раствора и замедления распада белков), или даже наблюдается его уменьшение; только при введении $CaCO_3$ начинается использование аммиака в процессе образования аспарагина (то же самое происходит при замене сульфата бикарбонатом аммония).

3. Растения (люпин), семена которых не содержат крахмала. У этих растений обычно (а у других — при крайнем истощении запаса углеводов) даже введение $CaCO_3$ не вызывает синтеза аспарагина; растения скоро начинают страдать от аммиачного отравления.

Дальнейшими нашими опытами было, однако, показано, что эти различия вовсе не являются такими видовыми отличиями, которых нельзя изменить; напротив, оказалось возможным экспериментальным путем перемещать растения из одной физиологической группы в другую. Для этого были испытаны два пути:

1. Уменьшение запаса углеводов у проростков злаковых достигалось или физиологической подготовкой проростков, т. е. более продолжительным выдерживанием их в темноте, или хирургической их подготовкой — удалением эндосперма; и в том и в другом случае проростки злаковых начинали вести себя по типу люпина — теряли способность к синтезу аспарагина и становились чувствительными к физиологической кислотности таких солей, как $(NH_4)_2SO_4$ или NH_4Cl.

2. Усиление снабжения углеводами проростков люпина: или питание их искусственно глюкозой (в стерильных условиях), или выставление их на свет. В том и другом случае люпин начинал вести себя по типу злаковых и четко превращал весь поглощенный аммиак в амидно-аминную группировку (т. е. шел синтез аспарагина), причем терялась чувствительность к физиологической кислотности солей аммония.

Таким образом, нашими опытами было показано, что перед резко выраженными различиями в условиях питания как бы стушевываются видовые особенности растений, и вместо того чтобы говорить о типе ячменя, гороха или люпина, можно говорить о различиях в отношении к аммиаку растений, богатых и бедных углеводами.

Чтобы устранить возражение, будто при опыте с ассимилирующим люпином, помимо наличия углеводов, свет как таковой играл какую-либо роль, опыт был повторен, но проростки люпина развивались под стеклянными колпаками в атмосфере, лишенной углекислоты. В этих условиях проростки люпина, «световые» по габитусу, вели себя физиологически так же, как ведут этиолированные проростки, т. е. они скоро начали страдать от накопления аммиака в тканях.

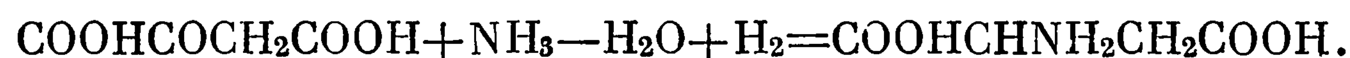
Когда мной были подведены итоги всех опытов по влиянию углеводов и света на отношение растения к аммиаку, то получилась такая таблица:

Условия опыта		Результаты опыта	
углеводы	свет	синтез аспарагина	аммиачное отравление
+	–	+	–
–	–	–	+
+	+	+	–
–	+	–	+

Таким образом, на синтез аспарагина влияет наличие углеводов независимо от присутствия или отсутствия света; точно так же аммиачное отравление наступает при недостатке углеводов и в темноте, и на свету.

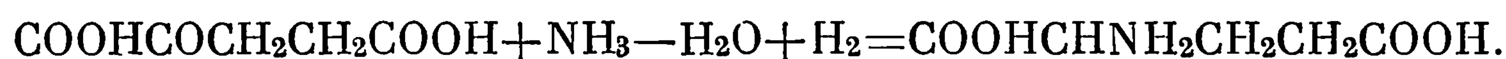
Так как при образовании аспарагина за счет извне поступающего аммиака у проростков, богатых запасом углеводов, наблюдалось точное совпадение между количеством азота в поглощенном аммиаке и количеством азота во вновь образованном аспарагине, то, следовательно, 50% азота аммиака переходит в амидную и 50% — в аминную форму, присоединяясь к какому-то безазотистому веществу с четырехуглеродной цепочкой. Если раньше казалось, что эта цепочка принадлежит яблочной и фумаровой кислотам [8*], то дальнейшие исследования заставляют признать наибольшее значение в качестве уловителей аммиака не за оксикислотами, а за кетонокислотами, как оксалоуксусная, и непредельными кислотами, как фумаровая.

Если фумаровая кислота, присоединяя аммиак по месту двойной связи, непосредственно дает аспарагиновую кислоту, то при реакции аксалоуксусной кислоты с аммиаком требуется дополнительное восстановление:



$$COOHCOCH_2COOH + NH_3 - H_2O + H_2 = COOHCHNH_2CH_2COOH.$$

Известно, что при синтезе другого амида, распространенного и в растительном, и в животном царстве,— глютамина, такая роль принадлежит кетоглутаровой (или оксалопропионовой) кислоте



$$COOHCOCH_2CH_2COOH + NH_3 - H_2O + H_2 = COOHCHNH_2CH_2CH_2COOH.$$

Роль названных дикарбоновых кислот с 4- или 5-углеродной цепочкой (фумаровая, оксалоуксусная, кетоглутаровая) в улавливании и обезвреживании аммиака не ограничивается образованием соответственных аминокислот — они способны обезвредить еще одну частицу аммиака, да-

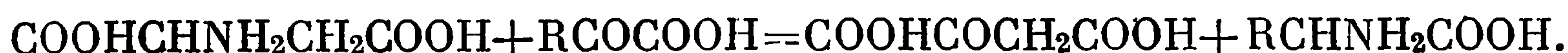
---

[8*] См., например, прежние высказывания автора в Berichte d. Deutschen Bot. Ges. с 1910 по 1922 г.

вая амиды аминокислот, причем здесь играют роль специфические ферменты — аспарагиназа и глютаминаза [9*].

Для объяснения некоторых ранее мной описанных фактов имеет важное значение открытие сравнительно недавнего времени, касающееся аспарагиновой и глютаминовой кислот, которые играют такую важную роль в обезвреживании аммиака, образующегося в самом растении, и являются первым этапом использования извне поступающего аммиака: оказалось, что через эти аминокислоты лежит еще и общий путь к синтезу остальных аминокислот с разнообразной длиной углеродной цепочки. Мы имеем в виду открытие Браунштейном и Крицман [10*] (Москва) явления так называемого «переаминирования», т. е. перехода амидной группы от аспарагиновой или глютаминовой кислоты к любой кетонокислоте.

Кетонокислоты, обладающие одной карбоксильной группой, не склонны прямо реагировать с аммиаком и давать иминокислоты (и дальше — аминокислоты); но оказалось, что эта реакция идет легко с дикарбоновыми кетонокислотами (оксалоуксусной и кетоглутаровой), дающими аспарагиновую и глютаминовую кислоты, а эти последние способны передавать дальше аминогруппы уже другим кетонокислотам, что в сокращенной форме выражается следующим уравнением:



$$COOHCHNH_2CH_2COOH + RCOCOOH = COOHCOCH_2COOH + RCHNH_2COOH.$$

Вскоре то, что Браунштейн и Крицман наблюдали для животного организма, было подтверждено рядом наблюдений и над растительными объектами; так, Виртанен и Лэн (Финляндия) нашли, что растертая масса гороха вызывает реакцию переаминирования между аспарагиновой кислотой и кетонокислотами; Эйлер и его сотрудники показали, что вытяжки из различных растений содержат энзимы, в присутствии которых глютаминовая кислота становится донатором группы NH_2 и способствует синтезу других аминокислот.

Благодаря легкости образования аспарагиновой и глютаминовой кислот из соответствующих кетонокислот и их способности к переаминированию, можно сказать, что дикарбоновые моноаминокислоты являются как бы большими воротами на пути, ведущем к синтезу других аминокислот, а следовательно, и белков, причем этот путь является общим как для растительных, так и для животных организмов.

[9*] Раньше растения делили на две группы: в одну входили растения, накопляющие аспарагин, в другую — накопляющие глютамин; но в последнее время, когда научились количественно определять глютамин в присутствии аспарагина, оказалось, что оба амида часто встречаются совместно; мало того, даже установлена возможность образования аспарагина за счет глютамина в одном и том же растении, но при разных степенях голодания; именно, растение, накопившее глютамин, может затем. в разгар окислительных процессов, укорачивать 5-углеродную цепочку в 4-углеродную, а затем переходить к окислению и последней, что связано уже с уменьшением количества амидного азота и с накоплением аммиака.

[10*] Биохимия, 1937, II, стр. 242 и 859.

Ферменты, вызывающие образование названных дикарбоновых аминокислот и их амидов, найдены как в растительном царстве, так и в животном (проростки бобовых, ткани почек, мозга и пр.), и препараты, содержащие эти ферменты, вызывают соответственные реакции.

Таким образом, имеется большое число фактов, говорящих о единстве основных черт обмена азотистых веществ у растений и у животных, но до известного времени факты эти укладывались в приведенную выше «круговую схему», способствуя как бы большей детализации того, что раньше изображалось лишь в общих чертах.

Однако мы натолкнулись на такие примеры, которые этой схемой не предусматривались, а именно выделение растениями при известных условиях аммиака в раствор, окружающий корни, главным образом в виде бикарбоната, что представляет еще одну черту, сближающую растения с животным царством. Этого рода явления послужили поводом для построения новой схемы вместо прежней («круговой»); так как они обнаружены были нами в тех случаях, когда растения питались нитратным азотом (или одновременно аммиачным и нитратным), то, прежде чем говорить о новой схеме, необходимо остановиться на вопросе о превращении нитратов в растении.

Если a priori можно думать, что путь от нитратного азота к группе NH_2 [11*], входящей в состав аминокислот (а следовательно, и белков), должен лежать через аммиак, то фактически обнаружение аммиака как промежуточного продукта при нитратном (или нитритном) питании высших растений имело место в работе, произведенной в лаборатории автора [12*] в 1924 г., причем приемом для выявления промежуточных продуктов восстановления нитратов служила бо́льшая или меньшая обеспеченность проростков углеводами.

Другой прием применили в 1925 г. Клейн и Киссер. Работая с ростками, развивавшимися на свету и достаточно снабженными углеводами, они давали росткам кукурузы избыточное количество нитратов, и тогда им удалось в среде, окружавшей корни, обнаружить аммиак (тем же приемом пользовалась Эккерсон, обнаружившая аммиак микрохимически в клетках растений, удобренных в изобилии нитратами, после того как они в течение 2 недель не получали азота).

Ясно, что в тех случаях, когда растение само выделяет аммиак, оно не может быть подходящим объектом для опытов по сравнению скорости поглощения аммиака и нитратов из окружающего раствора; но и тогда, когда выделения аммиака наружу еще нет, а есть только накопление его внутри клеток, такое растение уже не годится в качестве объекта

[11*] Образование аспарагина за счет нитратного азота у разных растений было количественно прослежено еще в 1908—1912 гг. рядом моих сотрудников (см. работы Дабахова, Ритмана, Калинкина, Перитурина и др. в VIII и IX тт. «Из результатов вегетативных опытов и лабораторных работ»).

[12*] Образование аммиака при нитратном питании низших растений было обнаружено Костычевым и Варбургом в 1920 г.

для подобных опытов. На эти явления мы натолкнулись, изучая скорость поступления ионов NH_4 и NO_3 из растворов NH_4NO_3.

Как правило, NH_4 поступает в растения быстрее, чем NO_3; поэтому нормальные растения относятся к NH_4NO_3 как к соли физиологически кислой и реакция раствора сдвигается обычно в кислую сторону. Это мы наблюдали неизменно на разных объектах в течение долгого ряда лет, одинаково как на ассимилирующих растениях, так и на этиолированных проростках в первых стадиях их развития. Первые исключения относятся к этиолированным проросткам, перешедшим за известную грань развития; например, у гороха это наблюдается у проростков, пробывших в темноте 12 дней и более (у люпина — раньше, а у проростков свеклы, обладающих малых запасом углеводов, еще раньше).

Для краткости это явление можно характеризовать как переход отношения $\frac{N_{\text{амм}}}{N_{\text{нитр}}}$ от величины, большей единицы, к величине, меньшей единицы, если понимать под $N_{\text{амм}}$ азот NH_4, а под $N_{\text{нитр}}$ азот NO_3, или, еще короче, обозначить этот переход как «явление Пантанелли», по имени итальянского физиолога, впервые наблюдавшего случай $\frac{N_{\text{амм}}}{N_{\text{нитр}}} < 1$. Пантанелли не дал, однако, никакого объяснения этому, на первый взгляд совершенно непонятному результату своих опытов.

Мы изучили это капризное явление на ряде растений в разных стадиях развития при разных условиях и по желанию научились его воспроизводить. Мало того, в отношении объектов, еще более бедных углеводами (но все же еще их содержащих), мы отмечали нечто новое, чего не было в опытах Пантанелли, а именно, кроме замедления поступления аммиака, при более значительных концентрациях NH_4NO_3 наблюдалось *выделение аммиака наружу*; очевидно, в этом случае само растение было образователем аммиака.

Если прибегнуть к графическому изображению, то «явление Пантанелли» выразится так: пока проростки богаты углеводами, кривая поглощения аммиачного азота идет значительно выше нитратной кривой, но с каждым днем аммиачная кривая снижается и сближается с нитратной, затем наступает пересечение обеих линий, после чего снижение аммиачной кривой продолжается до пересечения с осью абсцисс, что означает уже не поглощение, а выделение аммиака. Но ту же картину можно получить не во времени, а в пространстве. Если в разных сосудах с ростками одинакового возраста (еще не дошедшими до «стадии Пантанелли») наблюдать влияние NH_4NO_3 при возрастающей концентрации, то, откладывая величины концентрации на оси абсцисс, также будем наблюдать постепенное снижение аммиачной кривой, ее пересечение с нитратной кривой — первые «ножницы», а затем и пересечение с осью абсцисс — вторые «ножницы», означающие переход к выделению аммиака.

Кроме возраста проростков и концентрации раствора NH_4NO_3 суще-

ственное влияние оказывает реакция среды, и если мы при том же возрасте проростков и той же концентрации NH_4NO_3 будем менять pH раствора (например, от 7,5 до 4,5), то снова получим буквально ту же картину последовательного снижения аммиачной кривой и ее пересечения сначала с нитратной кривой, а затем с осью абсцисс.

Различное отношение растений к аммиачному и нитратному питанию в зависимости от возраста этиолированных растений, от концентрации и реакции раствора NH_4NO_3 представляет яркий пример тесной связи между внутренними факторами, характеризующими состояние обмена веществ у растения (как запас углеводов), и условиями внешней среды (концентрация раствора и реакция среды), *взаимного влияния их на процесс питания растения.*

Влияние различных факторов на процесс поглощения и усвоения аммиачного и нитратного азота из раствора NH_4NO_3 было нами подробно изучено, и были построены целые «семейства» кривых; однако все их разнообразие может быть сведено к некоторому единству: так, если для какого угодно из изученных факторов отложить возрастающие величины на оси абсцисс, то получается одна и та же картина перехода от соотношения $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}} > 1$ к обратному $\frac{N_{амм}}{N_{нитр}} < 1$, а затем происходит смена поглощения аммиака на выделение его.

Объяснение всех этих случаев перехода от поглощения аммиака к его выделению мы нашли, исходя опять-таки из основного представления о некотором единстве процессов, идущих на разных ступенях биологической лестницы. Нам вспомнилась работа Костычева с плесневыми грибами (1920), в которой он наблюдал образование белков за счет нитратов без появления каких-либо промежуточных продуктов, если питание глюкозой было обильным; при скудном же питании глюкозой отмечено образование аммиака за счет нитратов и выделение его наружу. Точно так же в опытах с нитратами, проведенных позднее в нашей лаборатории, наблюдалось образование аммиака как раз для проростков, уже истративших значительную часть запаса углеводов. Поэтому мы пришли к выводу, что причина «явления Пантанелли» должна лежать в редукции нитратов до аммиака, который уже не используется для синтеза амидов.

Для проверки этого предположения мы исключили аммиак из питательной смеси и поставили опыты с раствором $NaNO_3$, взяв проростки того возраста, в котором они заведомо дают «явление Пантанелли». Опыт сполна подтвердил наши предположения: при известных условиях нитраты почти нацело восстанавливаются до аммиака, который выделяется в раствор, так как он не потребляется на образование амидов вследствие подавления синтетических процессов.

Если графически нанести данные одного из типичных опытов с проростками гороха, то можно увидеть, что поглощение нитратов и выделение аммиака растут вместе с концентрацией раствора NH_4NO_3. Так,

если выделение NH_3 откладывать вниз, а поглощение NO_3 вверх по оси ординат, то при pH 8,0 кривая выделения аммиака представляет зеркальное изображение кривой поглощения нитратов, т. е. осуществляется — на высшем растении — случай, отмеченный Варбургом для водоросли Chlorella («чистая редукция, никакой ассимиляции»). Из аналогичных опытов с люпином приведем данные лишь для одного случая (pH 7,0):

Концентрация раствора $NaNO_3$ (н.)	0	0,05	0,10	0,20	0,40
Поглощено NO_3 (в мг N)	–	3,1	6,1	14,7	18,1
Выделено NH_3 (в мг N)	0	2,5	4,0	12,3	16,2

Мы опять видим, что азот, поступивший в растения в виде нитрата, почти нацело выделяется в виде аммиака.

Различные случаи выделения аммиака растениями, сохранившими жизненность и способными при восстановлении нормальных условий развиваться дальше и даже плодоносить, совершенно не укладываются в ту «круговую схему», которая была нами предложена лет 20 назад (о ней см. выше) и в свое время приносила пользу. Теперь настала пора заменить ее другой схемой, в которой учитывалось бы не только поступление аммиака и нитратов в растение, но и возможность выделения аммиака.

Ниже представлена эта схема, иллюстрирующая влияние запаса углеводов на процессы превращения азотистых веществ в растениях.

<table>
<tr><td>Синтез белков</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Синтез амидов</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Потребление NH_3</td><td>Выделение NH_3</td><td rowspan="2">Отравление NH_3 и смерть растения</td></tr>
<tr><td colspan="3">Поглощение NH_3 и NO_3 и восстановление NO_3 до NH_3</td></tr>
<tr><td>I</td><td>II</td><td>III</td><td>IV</td></tr>
</table>

Представим себе лестницу, нисходящие ступени которой отвечают разным степеням снабжения углеводами, наличность которых убывает при перенесении растения в темноту. В стадии I (обычно — световой) [13*]

[13*] Теперь появились работы, доказывающие возможность прохождения в темноте всех стадий развития, включая цветение и плодоношение, но для этого нужно питать растение не только глюкозой и минеральными солями, но еще вводить в раствор и ростовые вещества (см., например, журнал «Hereditas» за 1940 г., где описаны соответственные опыты с горохом).

синтез идет от аммиака (или нитратов) через амиды или аминокислоты до белка включительно, но в темноте постепенно отпадают сначала высшие функции, как синтез белков, а затем последовательно и низшие, одна за другой.

Всего дольше задерживается процесс на стадии II, когда дело доходит только до синтеза амидов (аспарагина и глютамина), образующихся при питании как аммиаком, так и нитратами при восстановлении последних до аммиака; эта стадия наиболее устойчива при прорастании в темноте.

На следующей ступени истощения углеводов (III) синтез амидов уже прекращается вследствие недостатка энергетического материала; однако его еще хватает на восстановление нитратов до аммиака; последний, не потребляясь в процессе синтеза амидов, начинает выделяться наружу (эту стадию можно продолжать, прибегая к смене раствора). Растения при этом еще могут остаться живыми, что обнаруживается при перенесении их в нормальные условия.

В стадии IV, наконец, истощается весь запас углеводов, растение начинает сжигать углеродную цепочку ранее образовавшегося аспарагина, наступает *аммиачное отравление и смерть растения.*

Из этих стадий наиболее близко к животному организму приближается высшее растение в стадии III, когда оно, подобно какой-нибудь асцидии, пиявке или плесневому грибу, отдает в окружающую среду аммиак, очевидно, в виде бикарбоната аммония[14*], но связан ли аммиак с угольной кислотой, или с щавелевой, или же с какой-либо,— это уже вопрос второстепенный.

Совершенно особый случай выделения аммиака наблюдали мы в одном опыте *с ассимилирующими растениями.* Здесь оно может быть вызвано, несмотря на наличие углеводов, крайним избытком азотистой пищи, если приток последней превышает всякую меру возможного использования образующегося аммиака со стороны растения. Возьмем пример из наших опытов с овсом, когда в текучих культурах растения получали три разные дозы азота в виде NH_4NO_3, а именно 24, 240 и 480 мг азота на литр. При дозе 24 мг на литр имеет место нормальный случай — поглощение NH_4 преобладает над поглощением NO_3 в течение всей жизни растения (см. таблицу на стр. 122).

При дозе в 240 мг, начиная с 40-дневного возраста, наблюдается «явление Пантанелли», т. е. преимущественное поглощение NO_3, а при дозе в 480 мг имеем следующую картину:

Возраст растений (в днях)		15	30	40	50	60
Поглощено азота (в мг)	в виде NH_4	11,6	8,9	−0,96	−10,2	−12,2
	» NO_3	9,3	15,6	17,92	17,8	26,1

[14*] Для полной сравнимости лучше взять случай, когда нитраты не вводятся, но голодающее растение начинает выделять свой собственный аммиак, что прежде всех наблюдал Буткевич.

Здесь молодые растения (15 дней) ведут себя нормально и поглощают больше NH_4, чем NO_3; через 30 дней уже имеет место обратное — наступает «явление Пантанелли», а через 40 дней начинается выделение аммиака, все более возрастающее (очевидно, растение после сформирования своих органов не нуждается больше в значительных количествах азота, а редукционный аппарат продолжает работу, превращая NO_3 в NH_4, что и приводит к выделению аммиака в раствор, окружающий корни). При этом растения продолжают нормально развиваться и дают зрелые семена, а дальше наступает совершенно неожиданное явление: после того как стебли первой генерации, давшие зрелые семена, были срезаны, *начинается вторичное кущение*, затем образуются стебли (меньшей длины) и выкидываются метелки, второй раз за то же лето. В это время аммиак опять начинает потребляться, и еще раз, как и в первые дни опыта, NH_4NO_3 ведет себя как физиологически кислая соль. При графическом изображении (см. рис. 24, *б* на стр. 123) это сказывается следующим образом на ходе аммиачной и нитратной кривых.

После первого пересечения аммиачной и нитратной кривых, наступающего в этом случае очень рано, вскоре следует пересечение аммиачной кривой с осью абсцисс — начинается выделение аммиака. Но в промежутке между 60- и 70-дневным возрастом выделение аммиака уменьшается, аммиачная кривая идет вверх, пересекает ось абсцисс и поднимается опять до пересечения с нитратной кривой. Это отвечает началу нового роста и образованию вторичных стеблей — растение под влиянием обильного азотистого питания не отмирает после плодоношения (как это бывает обычно), а начинает новую жизнь. Чтобы окончательно удостовериться в том, что аммиак и в этом случае (как и в опытах с этиолированными проростками) образуется за счет редукции нитратов, при повторении этого опыта мы взяли вместо NH_4NO_3 раствор $NaNO_3$ и также наблюдали выделение аммиака.

Так, на высоком уровне азотистого питания удается у ассимилирующего растения вызвать те же явления, какие наблюдаются у этиолированных растений уже при сравнительно малом притоке азотистой пищи.

В предыдущем изложении мы касались преимущественно вопроса о связи обмена азотистых веществ с количеством углеводов в растении, но в ряде опытов мы изучали также зависимость этого обмена от условий минерального питания, в частности зависимость использования аммиачного и нитратного азота от наличия тех или иных катионов и анионов в питательном растворе. Еще в 1926—1927 гг. опытами в нашей лаборатории было показано, что при чисто аммиачном питании поступление кальция в растения затруднено, поэтому необходима значительная концентрация ионов кальция, чтобы получить нормальное развитие растений, между тем как в случае нитратного питания такое же обогащение раствора ионами кальция является уже вредным. Для кальция получаются обратные соотношения.

Эта наша работа затем (в 30-х годах) нашла продолжение в опытах профессора университета в Кантоне Цун-Ли-Лу (Tsung-Lee-Loo), который показал, что K и SO_4 благоприятствуют усвоению проростками кукурузы нитратного азота, а Ca и Cl — усвоению аммиачного азота из раствора NH_4NO_3. Однако в опытах Цун-Ли-Лу испытывалось влияние солей, а не отдельных ионов; поэтому мы, вернувшись в последнее время к разработке этого вопроса, применили такой метод: берется пара солей с общим анионом, например KCl и $CaCl_2$, и изменяется соотношение между катионами при постоянном количестве аниона (в других

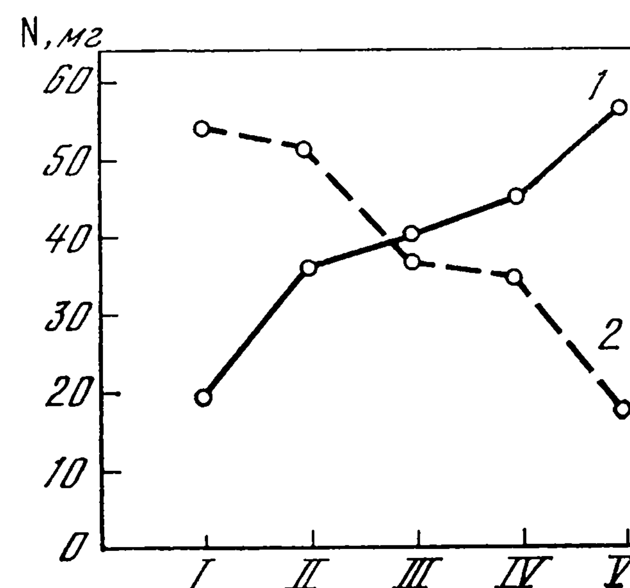


Рис. 1. Поглощение проростками пшеницы аммиачного (*1*) и нитратного (*2*) азота из растворов NH_4NO_3 при разном соотношении K_2SO_4 и $CaSO_4$

I — K_5; *II* — K_4Ca;
III — $K_{2,5}Ca_{2,5}$;
IV — KCa_4; *V* — Ca_5

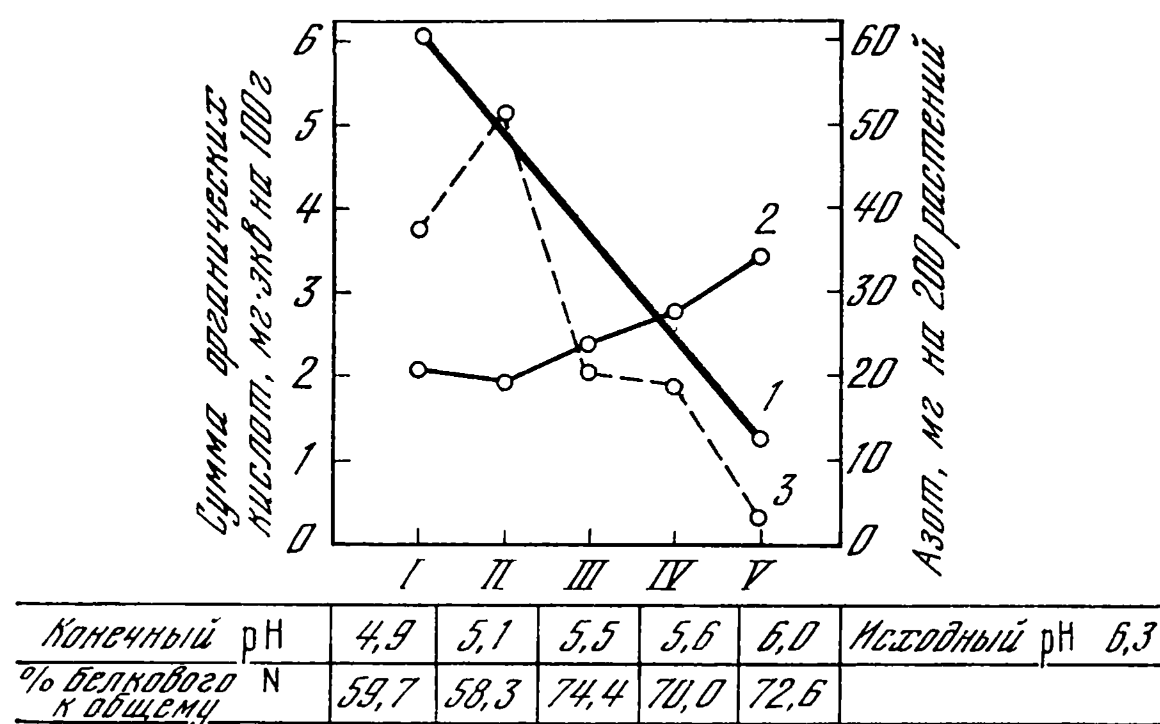
случаях — наоборот: изменяется соотношение между Cl и SO_4 при постоянном количестве того или другого катиона). Приведем здесь несколько примеров из опытов с ассимилирующими проростками пшеницы, проведенных в нашей лаборатории Н. С. Турковой в 1944—1946 гг. (см. стр. 127—128).

Из этих данных видно, что количество поглощенного аммиачного азота растет с количеством кальция в растворе и падает с количеством калия; нитраты ведут себя обратно — при графическом изображении получаются характерные ножницы (рис. 1).

При изучении биохимических процессов в растениях, выдерживаемых при различном соотношении изучаемых катионов, оказалось, что калий и кальций различно влияют не только на поступление аммиачного и нитратного азота, но и на характер превращения азотистых веществ в тканях растения. Для иллюстрации этого влияния приведем данные одного из опытов с нитратом аммония и сульфатами калия и кальция (рис. 2).

С увеличением доли кальция и уменьшением калия во внешнем растворе в растениях возрастает содержание амидов и падает содержание свободных аминокислот. Накопление амидов находится в обратной зависимости от общего содержания органических кислот, которое резко возрастает при увеличении в растворе калия (или падает по мере замещения калия кальцием).

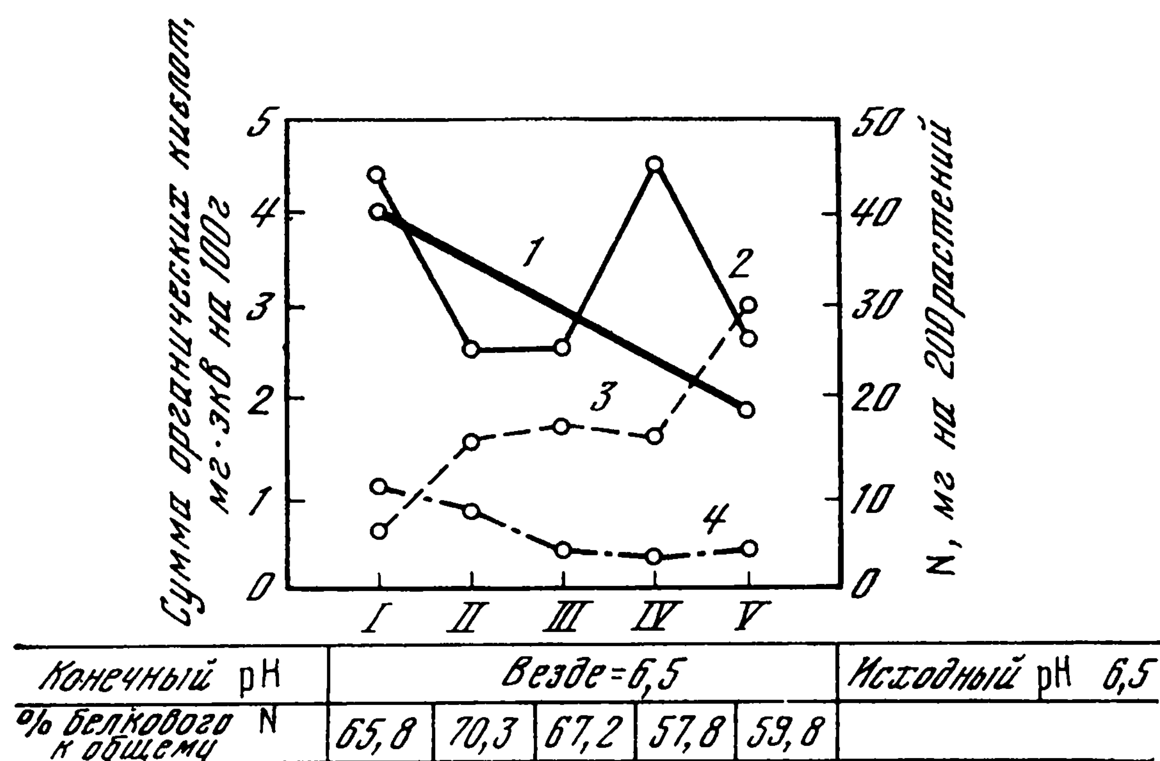
Значительная разница в содержании суммы органических кислот под влиянием изменения соотношения между калием и кальцием сохраняется



Конечный pH	4,9	5,1	5,5	5,6	6,0	Исходный pH 6,3
% белкового N к общему	59,7	58,3	74,4	70,0	72,6	

Рис. 2. Содержание амидов, свободных аминокислот в проростках пшеницы после 4—8 дней пребывания на растворах NH_4NO_3 при разном соотношении K_2SO_4 и $CaSO_4$

I — V — то же, что на рис. 1; 1 — сумма органических кислот; 2 — азот амидов; 3 — азот аминокислот



Конечный pH	Везде=6,5					Исходный pH 6,5
% белкового N к общему	65,8	70,3	67,2	57,8	59,8	

Рис. 3. Содержание амидов, свободных аминокислот, аммиака и суммы органических кислот в проростках пшеницы после 4—8 дней пребывания на растворах $NH_4HCO_3+CO_2$ при разном соотношении K_2SO_4 и $CaSO_4$ (при pH 6,5)

I — V — то же, что на рис. 1; 1 — сумма органических кислот; 2 — азот аминокислот; 3 — азот амидов; 4 — азот аммиака

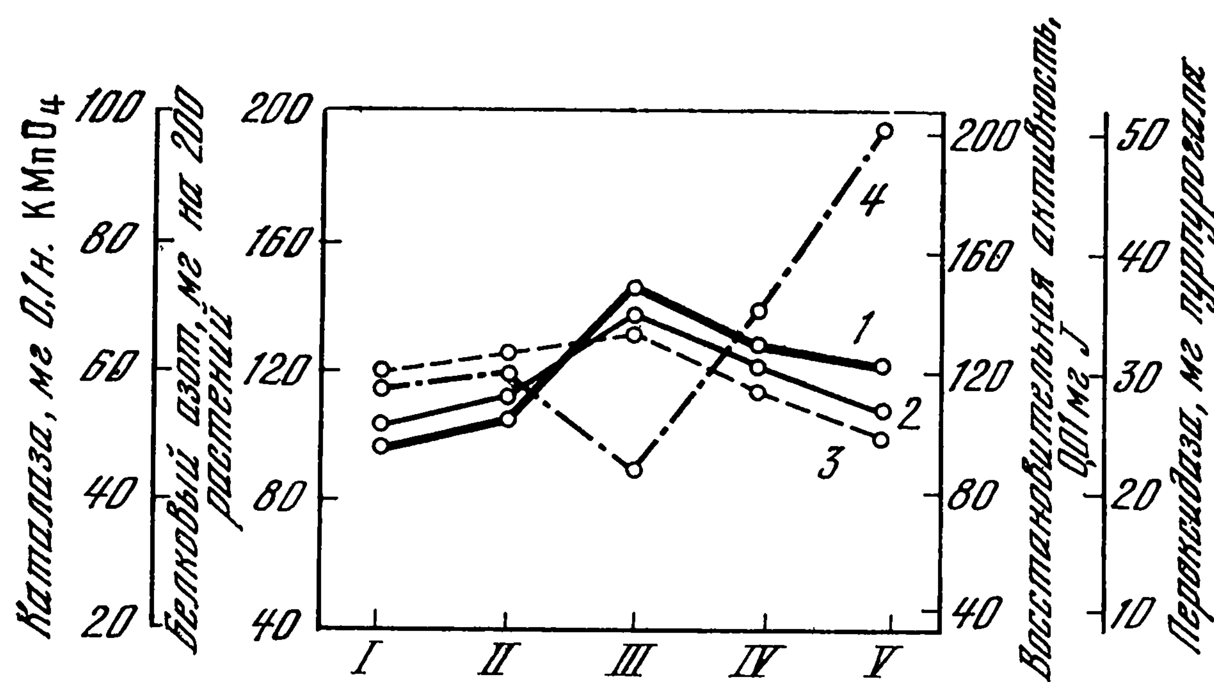


Рис. 4. Содержание белкового азота в проростках пшеницы, восстановительная активность тканей, активность каталазы и пероксидазы после 4 дней пребывания на растворах NH_4NO_3 при разном соотношении K_2SO_4 и $CaSO_4$

I — V — то же, что на рис. 1; 1 — белковый азот; 2 — каталаза; 3 — восстановительная активность; 4 — пероксидаза

и в том случае, когда растения получают азот только в нитратной или только в аммиачной форме и при сохранении одинаковой величины pH 6,5 (опыт с $NH_4HCO_3+CO_2$; рис.3).

По-видимому, причиной обычно наблюдаемого усиленного синтеза амидов под влиянием кальция является то обстоятельство, что кальций способствует поступлению аммиака и в то же время сильно ограничивает накопление в растении органических кислот. Последнее, возможно, обусловлено активированием конечных фаз биологических окислений: при преобладании в сумме катионов кальция в комплексе окислительно-восстановительных ферментов наблюдается одностороннее усиление ферментов группы оксидаз. Так, в наших опытах наблюдалось одностороннее повышение активности пероксидазы в случае преобладания в растворе кальция (рис. 4). При этом характерно, что у растений, образовавших максимальное количество белковых веществ (что имело место в данном опыте при средних величинах соотношения калия и кальция), наблюдалась наиболее высокая редуцирующая активность тканей (по Гутри) и максимальная активность каталазы при заметно сниженной активности пероксидазы.

Отсюда можно заключить, что влияние калия и кальция на обмен азотистых веществ находится в определенной связи с окислительно-восстановительным режимом тканей растения. Однако в вопросе о влиянии сопутствующих катионов (и анионов) на обмен азотистых веществ в растении можно разобраться только при условии, если иметь в виду также зависимость поступления в растение различных соединений азота от состава питательного раствора. Так, в зависимости от источника азота соотношение калия и кальция по-разному влияет на синтез белковых веществ. В опытах с такими источниками азота, в состав которых азот входит только в аммиачной форме (как NH_4HCO_3) или только в нитратной (опыты с KNO_3 и $Ca(NO_3)_2$), положительное действие калия на синтез белков проявляется с достаточной определенностью, что вполне согласуется с характером влияния калия на окислительно-восстановительный режим тканей. В опытах же с NH_4NO_3 преобладание кальция оказывает более благоприятное действие на синтез белков, чем преобладание калия. Это кажущееся противоречие объясняется тем, что при питании NH_4NO_3 калий ускоряет поступление преимущественно нитратного азота; нитратное же питание менее благоприятно для синтеза белков, чем питание аммиачное, и поэтому положительное действие калия на синтез белков в этом случае оказывается ослабленным или не проявляется совсем. Таким образом, и в тех сложных взаимоотношениях, которые определяют влияние калия и кальция на обмен азотистых веществ в растениях, мы снова сталкиваемся с основным фактом более быстрого использования аммиачной формы азотистого питания для синтеза органических азотистых веществ в растении.

В итоге можно сказать, что последние данные, касающиеся синтеза амидов и других азотистых органических веществ в растении, дали ряд

новых подтверждений моему тезису относительно аммиака как альфы и омеги в процессах обмена азотистых веществ в растении; они еще раз показали не только неправильность старого положения (которое до сих пор еще не исчезает со страниц учебников) о необходимости предварительного окисления аммиака для питания растений, но и ошибочность более позднего утверждения, будто бы аммиак медленно используется растением: на деле, как мы видим, он ассимилируется быстрее, чем азот нитратный.

Надо подчеркнуть, что этот принципиальный взгляд на роль аммиачного азота в обмене веществ и вопрос об аммиачном и нитратном питании растений представляют интерес не только для общефизиологических сопоставлений между высшими и низшими растениями и еще более широкого параллелизма с превращением веществ в животном организме, но и для непосредственного приложения в сельском хозяйстве.

Современная азотная промышленность — это прежде всего промышленность синтетического аммиака. Аммиак в химической промышленности является сейчас той «альфой», которая лежит в основе получения как аммиачных, так и других азотистых удобрений. Поэтому чем лучше будет изучена проблема азотистого питания растения, и в частности питания аммиачного, тем более правильное научное обоснование мы сможем дать практическим мероприятиям в деле использования продукции азотной промышленности для поднятия урожаев на полях нашей страны.

ФОСФОРИТ И ДРУГИЕ ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ [9]

ДОСТУПНА ЛИ КУЛЬТУРНЫМ РАСТЕНИЯМ ФОСФОРНАЯ КИСЛОТА ФОСФОРИТОВ? *

Несмотря на то что залежи фосфоритов были исследованы и описаны А. Н. Энгельгардтом и его сотрудниками еще в конце 60-х годов, несмотря на то что опыты с фосфоритным удобрением проводятся уже не первое десятилетие, вопрос об относительном достоинстве фосфоритов как удобрения является одним из самых спорных вопросов нашей сельскохозяйственной литературы: одни видят в фосфоритах могущественное средство для поднятия наших урожаев, другие же находят возможным поставить вопрос, заслуживают ли фосфориты даже названия фосфорнокислых удобрений.

Эти резкие различия в мнениях проистекают, конечно, от того разнообразия результатов, какое было получено при полевых опытах с фосфоритами и которое в значительной степени является неизбежным в этих условиях. Запутанность этого вопроса является хорошей иллюстрацией тех затруднений, какие встречаются при попытках разрешить сложные вопросы путем только полевых опытов, без тех ценных предварительных указаний, которые может дать точный опыт в искусственной обстановке, позволяющей изучать порознь факторы, определяющие действие удобрения и подготовляющие почву для правильной постановки полевых опытов.

Какие же из этих факторов должны остановить наше внимание?

Если предположим, что общие факторы развития растений (свет, тепло, влага, питательные вещества, за исключением того, которое мы вносим в данном удобрении) находятся налицо в должном количестве, или, выражаясь иначе, если то вещество, которое мы вносим с данным удобрением, есть фактор, находящийся в минимуме, то размер действия этого удобрения будет зависеть от: 1) *свойства самого удобрения*, 2) *свойства почвы* и 3) *свойства растения.*

Вероятно, против этого положения никто не станет спорить; оно кажется даже общим местом; и тем не менее приходится на нем настаивать, так как при постановке опытов на него обыкновенно не обращают достаточного внимания.

---

* Печатается по тексту, опубликованному в Юбилейном сборнике «Статьи и научные работы Д. Н. Прянишникова», т. 2, 1928, стр. 243—260. Впервые опубликовано в 1899 г. в «Известиях МСХИ», кн. I.

Исследования западноевропейских станций (Галле, Дармштадт и др.) главным образом обращены были на свойства самих удобрений, на определение растворимости этих удобрений в различных реактивах, на сопоставление показаний этих реактивов с показаниями культурных опытов, сравнительно меньше обращалось внимания на роль почвы и совершенно почти не придавалось значение тому, с каким растением сделан был тот или иной опыт.

Конечно, можно утверждать a priori, что роль растений по отношению к разным удобрениям не может быть одинаково активной; так, например, азотистые удобрения (гуано, кровяная мука и др.), подвергаясь воздействию со стороны низших организмов, являются источниками аммиака и нитратов в почве; трудно представить, чтобы само культурное растение могло заметно влиять на этот процесс **, скорее нужно думать, что оно может лишь пассивно выжидать, пока под влиянием указанных процессов в почве накопится достаточно усвояемой азотистой пищи. Напротив, в случае удобрений калийных и фосфорнокислых можно ожидать прямого воздействия кислых выделений корней на малорастворимые соединения.

К сожалению, имеется весьма мало данных для суждения о характере этих «кислых выделений» вообще, а тем более для решения вопроса, какие различия в этом отношении (количественные и качественные) существуют между различными растениями.

Опыты Сакса, констатировавшие коррозионные явления (т. е. явления разъедания корнями растений твердого субстрата, например мрамора), конечно, достаточно известны, но они ограничиваются констатированием данного факта, не давая никаких дальнейших указаний.

Некоторые (хотя далеко не безупречные, как увидим ниже) данные по интересующему нас вопросу находим в опытах Дитриха [3*], который брал грубо размельченный базальт, песчаник и, с одной стороны, наблюдал, сколько вещества переходит в состояние, растворимое в слабых кислотах под влиянием выветривания, а с другой — насколько этот процесс усиливается наличностью тех или других растений. Опыт показал, что участие растений в процессе переведения составных частей горных пород в легкорастворимое состояние выражалось следующими цифрами [4*]:

	Песчаник	Базальт
Люпин (3 растения)	0,608	0,749
Горох (3 растения)	0,481	0,713
Шпергель (20 растений)	0,268	0,365
Гречиха (10 растений)	0,232	0,327
Вика (4 растения)	0,221	0,251
Пшеница (8 растений)	0,027	0,196
Рожь (8 растений)	0,014	0,132

** Впрочем, ср. Bréal, Annales agr., 1897.

[3*] Цит. по Майеру (Agriculturchemie, II Bd.).

[4*] Зольные составные части растений в этом случае были приняты во внимание.

Опыт показывает, по-видимому, что бобовые значительно энергичнее воздействовали на субстрат, чем все остальные растения. Но нельзя не признать этот опыт несовершенным вот на каком основании: в то время еще не была известна особенность бобовых, позволяющая им использовать свободный азот атмосферы, и весьма вероятно, что горох и люпины в опыте Дитриха имели клубеньки на корнях; а раз это имело место, то понятно, что бобовые должны были развиться лучше злаковых, лишенных азотистой пищи, а лучшее развитие бобовых позволило им на большей поверхности соприкасаться с почвой и потому извлечь больше зольных веществ. Для уравнения шансов следовало в опыте ввести азот в связанной форме (например, NH_4NO_3) и тогда наблюдать усвоение зольных веществ из малодоступного материала различными растениями.

Дайер [5*] иным способом пытался дать характеристику усвояющей способности корней различных растений, именно он определял кислотность их содержимого путем титрования. Для этого корни, отмытые от земли, разрезались на части и кипятились с дистиллированной водой; после отделения вытяжки корни растирались в ступке и извлечение повторялось еще раз; экстракт сгущался кипячением, так что свободная угольная кислота удалялась, затем вытяжки титровались (индикатором служил фенолфталеин), и так как содержание воды в корнях определялось одновременно в особой порции, то можно было определить, сколько щелочи требует для нейтрализации сок корней того или другого растения. Качественного исследования при этом не делалось, а степень кислотности выражалась количеством лимонной кислоты, потребным для нейтрализации найденного количества щелочи; выбор именно этой кислоты является, конечно, произвольным [6*], но для сравнительного изучения такой прием, как временный, все же можно допустить; дальнейшее исследование, конечно, может обнаружить, что различные растения выделяют не те же самые кислоты, так что одного общего определения кислотности окажется недостаточно.

Возьмем из таблиц, приведенных Дайером, показания для злаковых и бобовых, причем воспользуемся данными только для растений полевой культуры (растения, выращенные в горшках в огородной почве, обладали чаще всего меньшей кислотностью сока):

Gramineae		Leguminosae	
Овес	0,65	Клевер инкарнатный	1,28
Ячмень	0,38	Клевер белый (repens)	1,43
Пшеница	0,51–0,58	Клевер красный	1,55
Лисохвост	0,54	Бобы (Vicia Faba)	1,13
Тимофеевка	0,80–0,88		
Ежа сборная	0,81		

5* Dyer. Biedermanns Centralblatt. 1894, 799.

6* Автор, по-видимому, основывался на употреблении лимонной кислоты как реактива, якобы отвечающего по растворяющей способности корневым выделениям.

Таким образом, в общем бобовые обладают более кислым содержимым корней, нежели злаковые. Из других семейств к бобовым приближаются (а отчасти их превосходят): лютиковые, крестоцветные, гвоздичные, бурачниковые; наоборот, зонтичные, сложноцветные, маревые приближаются к злаковым.

Эти данные представляют, конечно, значительный интерес, подтверждая мнение о большей способности бобовых использовать малорастворимые соединения, но все-таки нужно не забывать, что качество выделений может иметь большее значение, чем их количество, и что результаты Дайера относятся не к выделениям корней, а ко всей их массе.

Попытка определить свойства именно корневых выделений сделана была в последнее время Чапеком [7*]. Часть его опытов была поставлена с целью получить материал для микрохимического исследования корневых выделений. При этом семена проращивались так, чтобы корешки или погружались в небольшой объем воды, или прикасались к влажной пропускной бумаге; затем субстрат исследовался на содержание тех или иных кислот (обыкновенно после предварительного сгущения вытяжки или самой культурной жидкости; но когда благодаря выпариванию могло изменяться количество искомого вещества, то выпаривание не применялось). Удалось определить следующие вещества: калий (обычно), известь (редко), магнезию, хлор (в малых количествах), фосфорную кислоту (обычно в заметных количествах). Чапек из своих наблюдений заключает, что преобладающей солью в выделениях является кислый однозамещенный фосфат калия (KH_2PO_4). Нельзя не заметить по поводу этих опытов, что вряд ли результаты их могут быть обобщены: Чапек брал объекты, богатые фосфорнокислым калием (семена), и помещал молодые корешки в дистиллированную воду; в объектах этих преобладали процессы распадения над процессами синтетическими, фосфаты, вероятно, не находили потребления (может быть, даже они и вновь образуются при этом из органических соединений; по крайней мере для S такой переход показал Шульце). Понятно, что в таких условиях часть фосфорнокислого калия должна была осмотическим путем выделяться наружу; в обычных же условиях растение, наоборот, берет фосфорнокислый калий из окружающего корни раствора (или также из малорастворимых соединений P_2O_5 и K_2O) и, потребляя в процессе синтеза минеральные вещества внутри клеток, создает условия постоянного притока P_2O_5 и K_2O из среды, окружающей корни, внутрь них.

Далее Чапек констатировал присутствие муравьиной кислоты, но не в свободном виде, а в виде калийной соли. Щавелевая кислота констатирована лишь однажды (у гиацинта), по-видимому, в виде кислой калийной соли. Даже у Rumex и Oxalis Чапек не нашел щавелевой кислоты в корневых

[7*] Jahrb. f. wiss. Botanik, 1896.

выделениях; но опять является вопрос, тождественны ли выделения эти у прорастающих семян и у взрослого растения?

Заставляя корни расти в соприкосновении с лакмусовой бумагой, Чапек заметил, что у различных растений кислотность проявляется в различной мере; так, относительно люпина отмечается сильнокислая реакция, относительно льна — слабокислая или нейтральная, но, к сожалению, эти характеристики даны лишь мимоходом и в небольшом числе.

Третий прием, примененный Чапеком, был видоизменением первоначального опыта Сакса, именно то вещество, воздействие корней на которое предполагалось изучить, смешивалось с равным количеством гипса, и из этой смеси формовались пластинки с совершенно гладкой поверхностью. Из того факта, что в его опытах пластинки из $Al_2(PO_4)_2$ не давали коррозионных явлений, Чапек заключает, что корни не выделяют кислот: лимонной, молочной, винной, янтарной, яблочной, щавелевой, муравьиной и минеральных кислот, растворяющих трехалюминиевый фосфат; разъедание же пластинки с трехкальциевым фосфатом и углекислым кальцием вполне объясняется, по Чапеку, выделением корнями углекислоты.

Но если это и так, если растения не выделяют других кислот, кроме угольной (по Чапеку), то все же возможны различия в количественном отношении, обусловливающие различное воздействие разных растений на субстрат; но в этой части работы Чапека на эту сторону вопроса не было обращено внимания [8*]. Таким образом, в литературе мы находим лишь весьма скудные указания на различия, существующие между растениями по свойствам корневых выделений с качественной или количественной стороны; но все же эти указания позволяют предполагать, что такие различия существуют: например, бобовые (или по крайней мере некоторые из них), по-видимому, обладают большей растворяющей способностью корневых выделений, нежели злаки, а следовательно, при опытах с удобрениями полезно выяснить, не могут ли эти особенности самого растения влиять заметным образом на характер удобрения.

Переходя к вопросу о фосфоритах, можем поставить исследованию такие задачи на основании вышеизложенных соображений: 1) усвояется ли сколько-нибудь фосфорная кислота фосфоритов хлебными злаками, т. е. растениями, наиболее важными в нашей полевой культуре, но, по-видимо-

---

[8*] Вообще нужно заметить, что опыты Чапека с пластинками из гипса не могут назваться безупречными, так как гипс растворяется в воде в заметных размерах, что имело место и у Чапека, как он сам отмечает: в тех случаях, когда коррозионных явлений не наблюдалось, гипсовая пластинка обнаруживала даже выпуклости в местах прикосновения корней — они защищали ее механически от растворяющего действия воды, циркулировавшей в почве. Следовательно, для обнаружения коррозионных следов на пластинке было необходимо, чтобы разрушение ее шло быстрее от растворения фосфата, под влиянием корневых выделений, чем от действия почвенной влаги на гипс; следовательно, Чапек мог упустить из виду коррозионные явления и тогда, когда на самом деле они имели место.

му, малоэнергичными в отношении воздействия выделениями корней на субстрат? 2) не превосходят ли бобовые и другие растения заметно в этом отношении злаки? 3) насколько разные почвы способны изменять свойства фосфорита и способствовать превращению фосфорной кислоты в более усвояемую форму? 4) насколько фосфориты разного происхождения отличаются по доступности фосфорной кислоты для корней культурных растений или по способности подвергаться растворяющему действию почвы?

Когда мне пришлось организовать занятия студентов по ознакомлению с методом культур в искусственной обстановке, то естественным образом фосфоритный вопрос остановил на себе внимание и значительная часть тем была посвящена ему; результаты этих культур за первые два года уже были мною описаны в моих отчетах о студенческих работах; здесь я хочу выделить из этих отчетов, а также и из результатов культур третьего (1898) года лишь то, что мне кажется заслуживающим внимания, как согласно подтверждающееся в разных опытах, в разные годы, и что приводит к выводам, отчасти отвечающим вышенамеченным четырем вопросам по исследованию фосфоритов [9*].

Что касается метода постановки культур, то мы следовали в общих чертах указаниям Гельригеля; это относится, например, к количеству солей, вносимых в каждый сосуд. Нужно заметить, что для наших сосудов, включавших чаще всего около 4 кг песка, наблюдалось близкое совпадение между количеством солей, высчитанным двумя способами: по эмпирическим данным Гельригеля (на 1 кг песка столько-то солей для получения максимального урожая), с одной стороны, и по среднему составу у нас получавшегося максимального урожая — с другой. Обычными нормами для трех главных веществ на сосуд в 4 кг являются следующие (в г):

P_2O_5	0,25–0,30
N	0,41–0,50
K_2O	0,50–0,60

Вещества эти вносились в разных солях, смотря по задаче опыта; при сравнении усвояемости фосфорной кислоты разных фосфатов с усвоением растворимой P_2O_5 применялись, например, следующие смеси: NaH_2PO_4 [10*], $Ca(NO_3)_2$, K_2SO_4 (или KCl), $MgSO_4$ и Fe_2Cl_6.

[9*] Позднее я предполагаю таким же образом подвести временные итоги по культурам, касающиеся и других вопросов, каковы, например, использование растениями азота, вносимого в форме различных удобрений; значение известкования для различных почв; условия, определяющие положение узла кущения; влияние влажности на развитие растений и др.

[10*] Но не Na_2HPO_4, обычная в продаже. Ср.: Hellriegel. «Untersuchungen über die Stickstoffnährung etc.» (1888) и «Vegetationsversuche über den Stickstoffbedarf der Gerste» (1897).



Рис. 1. Зависимость урожая от количества введенной фосфорной кислоты, находящейся в положении минимального фактора (фосфорная кислота дана в виде растворимой соли NaH_2PO_4)

Верхняя строчка — количество введенной P_2O_5, нижняя — урожай в граммах

Смесь эта позволяла менять источник фосфорной кислоты, не меняя количества других необходимых элементов.

Принималось во внимание также количество воды, находящейся в 4 кг песка, и если по расчету концентрация оказывалась значительной, то соли вносились не сразу, а в два приема. Поливка применялась частью согласно показаниям ежедневных взвешиваний, частью же путем поддерживания постоянного уровня воды в нижней части сосудов.

Для сравнения условий, в каких находились наши культуры, с культурами Гельригеля, может отчасти служить один из опытов 1896 г. (М. В. Журавлева). В этом опыте (рис. 1) растения при достаточном количестве влаги (поливка по весу до 60% влагоемкости ежедневно) и других солей получили различные количества NaH_2PO_4, а именно (в г P_2O_5):

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
0	0,0146	0,0295	0,0492	0,1476	0,2952	0,8856	2,3616

Урожай на каждый сосуд менялся так в среднем из двух опытов (рис. 1):

1,3	5,5	11,9	18,5	34,3	35,1	38,3	31,6

Максимальный урожай получился в сосудах VII варианта, где его и следовало ожидать по указаниям Гельригеля; нужно думать поэтому, что растения при этих опытах находились в условиях, не отличающихся резко от условий, бывших у Гельригеля (если бы условия были хуже, максимум лежал бы ниже, и наоборот). Переходим теперь к результатам культур, имевших целью определить усвояемость P_2O_5 фосфорита для хлебных злаков [11*].

В 1896 г. для ячменя получились следующие результаты.

		Урожай на сосуд (надземные органы) (в г)
Нормальная культура		38,12
При замене растворимой P_2O_5 фосфоритом	подольским	**4,47**
	рязанским	**4,47**
	костромским	**5,03**
	смоленским	**5,52**

Каждая цифра есть среднее из показаний двух согласных опытов; P_2O_5 в виде фосфорита везде дано было пятерное количество по сравнению с нормальной культурой. Ячмень, таким образом, не мог в заметной мере использовать фосфорную кислоту фосфоритов сам по себе, без содействия почвы; урожай достигал лишь 11—14% высоты урожая при растворимой фосфорной кислоте. Растения, не имевшие другого источника P_2O_5 помимо фосфорита, были настолько плохи, что первоначально у нас явилась мысль, нет ли тут случайной причины; такого же объяснения мы искали для результатов другого опыта, в котором сравнивалась способность различных растений (ржи, пшеницы, овса, ячменя) использовать P_2O_5 фосфорита; все эти растения развивались чрезвычайно плохо. Но опыты 1897 г. совершенно подтвердили то, на что указывали вышеприведенные результаты: злаки не могли питаться за счет труднорастворимых источников P_2O_5 или могли лишь в очень слабой мере; так, для проса получилось следующее (в г):

урожай в сосудах с растворимой P_2O_5	29,07
» » » фосфоритом *	0,57

* Двойное количество P_2O_5.

11* В постановке культур, результаты которых цитируются ниже, принимали участие Недокучаев, Остряков, Ястржембский, Скалов, Грачев, Ефремов, Маркович, Компанейский, Тулайков, Брюхов, Сосновский, Захаров и др. под общим руководством моим и В. В. Винера. Подробнее см. мои статьи в «Известиях МСХИ» за 1897 и 1898 гг.

Просо дало лишь 2% нормального урожая; растения имели вид типичных «предельных» растений.

Пшеница дала 1,15 г на сосуд против 12,20 г, полученных в случае растворимой P_2O_5, что составляет 9,4%. Фосфорит (костромской) в этих опытах вносился в двойном количестве (считая на фосфорную кислоту). На снимках (рис. 2) ясно виден контраст между развитием растений, имевших источниками P_2O_5 фосфорит и растворимую соль.

Даже овес, имеющий репутацию весьма нетребовательного растения, дал весьма плохие результаты при культурах с фосфоритом, как это видно из следующих цифр:

Количество P_2O_5	0,3 г в форме NaH_2PO_4	0,6 г в форме фосфорита:			
		рязанского	смоленского	костромского	подольского
Средний урожай надземных частей (в г)	15,6	3,35	2,67	2,02	1,75
То же (в %)	100,0	21,50	17,10	13,00	11,20
Урожай зерна (в %)	100,0	23,60	15,20	10,10	9,00

В 1898 г. результаты были те же самые; так, овес в водных культурах дал следующий урожай (в г):

	Нормальная культура	Культура с фосфоритом
а)	16,3	2,80
б)	13,9	1,85

В песчаных культурах 1898 г. испытывалось, между прочим, действие различных количеств фосфоритного удобрения на развитие овса; постановка опыта и результаты его видны из следующей таблицы:

Форма, в которой вносилась P_2O_5	NaH_2PO_4	Суперфосфат	Фосфорит (рязанский)				
Количество P_2O_5 (в г)	0,3	0,3	3,0	2,4	1,8	1,2	0,6
Отношение между этими количествами	1	1	10	8	6	4	2
Урожай надземных частей (среднее из двух опытов)	26,9	30,5	10,8	10,4	8,7	6,8	4,4

Хотя урожай и растет с количеством фосфорита, но даже десятерное количество фосфорной кислоты в этой форме оказалось неспособным заменить собой то количество растворимой P_2O_5, какое необходимо для нормального развития овса.



Рис. 2. Просо, пшеница и овес при питании растворимой фосфорной кислотой (*1*, *3*, *5*) и нерастворимой, в форме фосфорита (*2*, *4*, *6*)



1 *2* *3* *4* *5* *6*

Рис. 3. Люпин синий в песчаной культуре

1 — нормальная смесь; *2* — без P_2O_5; фосфориты: *3* — казанский; *4* — костромской (вершняк); *5* — то же (нижняк)

Все вышеизложенное заставляет думать, что *хлебные злаки или совершенно неспособны питаться фосфорной кислотой фосфоритов, или же проявляют эту способность лишь в очень слабой степени.*

Что касается второго из намеченных выше вопросов, т. е. не способны ли другие растения в этом отношении превосходить злаковые, то некоторые опыты позволяют дать на этот вопрос утвердительный ответ.

Так, в опытах 1897 г. были поставлены песчаные культуры с горчицей, горохом и люпином, и эти растения не обнаружили тех различий между растворимой фосфорной кислотой и фосфоритом, какие обнаружили хлебные злаки: в тех самых условиях, в которых просо могло образовать лишь 0,58 г сухого вещества, горчица образовала около 6 г (что составило 93% урожая нормальной культуры), люпин — около 9 и горох — около 12 г; на снимках видно (рис. 3), как мало разницы обнаруживал люпин во время цветения при питании растворимой P_2O_5 в одном случае и, заимствуя это вещество из фосфорита,— в другом [12*]. Ко времени уборки разница, правда, несколько увеличилась, так что нельзя на основании этого опыта думать, что люпин столь же успешно берет P_2O_5 из фосфорита, как и из растворимой соли, тем более что абсолютная высота урожаев в данном опыте была недостаточно высока; но, во всяком случае, мы имеем здесь дело не с «предельными» растениями, но с более или менее нормально развивающимися. Необходимость считаться с природой растения при постановке опытов с фосфатами таким образом подтверждается.

Подтверждение вышеприведенным выводам, сделанным на основании наших культур, принесли работы Шрейбера в Бельгии, с одной стороны [13*], и работы петербургской лаборатории, находящейся в заведовании профессора Лесного института П. С. Коссовича — с другой.

Шрейбер поставил себе ту же цель, какую преследовали и мы,— расчленение отдельных факторов, определяющих действие малорастворимых фосфатов; правда, он пользовался не песчаными культурами, но наполнял свои сосуды различными почвами при одном и том же растении или засевал их разными растениями при одной и той же почве и таким образом получил материал для суждения о роли отдельных растений и отдельных почв.

Опыты с разными растениями сделаны были на легком суглинке, бедном органическим веществом, чрезвычайно сильно реагирующим на суперфосфат и томасов шлак и не обладающим способностью переводить в раствор фосфорную кислоту фосфорита. Сосуды вмещали 5 кг почвы, в них вносились N, K, Ca и SO_3 в форме растворимых нейтральных солей, а половина сосудов получила еще 0,25 г P_2O_5 в виде фосфорита.

[12*] Горох вел себя подобно люпину, напротив, морковь оказалась неспособной извлекать P_2O_5 из малорастворимых источников.

[13*] Schreiber. Biedermanns Centralblatt, 1897, Decemberheft.

Тот прирост, который мог вызвать фосфорит в урожае, служил для Шрейбера меркой способности данного растения использовать P_2O_5 фосфорита.

Вот величины прироста, полученные им для различных растений (в г):

Пшеница	0	Сераделла	1,45	Гречиха	6,95
Полба	0	Инкарнатный клевер	1,70	Картофель	7,70
Рожь	0	Holcus lanatus	1,90	Маис	9,00
Ячмень	0	Морковь	2,15	Вика	9,50
Овес	0	Шпергель	2,80	Капуста	10,00
Avena pratense	0	Могар	2,85	Горох	15,70
Тимофеевка	0	Белый клевер	3,50	Репа	16,50
Райграс	0,45	Красный клевер	4,25	Горчица	21,05
Табак	0,45	Люцерна	5,40	Конопля	21,85
Лен	0,55	Сахарная свекла	5,50		

Таким образом, и у Шрейбера хлеба оказались неспособными питаться фосфоритом, а горох, горчица, конопля дали значительный прирост сухого вещества в тех же условиях; свекла, картофель, гречиха, люцерна занимают промежуточное положение.

Весьма вероятно, что цифры Шрейбера для хлебов отчасти приблизительны, что овес все-таки может несколько больше взять из фосфорита, чем, например, пшеница и ячмень, но в основных чертах его результаты совершенно согласны с нашими.

Нужно, впрочем, оговориться, что нельзя характеризовать сразу в интересующем нас отношении растения целого семейства; разные роды одного и того же семейства, по-видимому, могут проявлять значительные отличия, как это видно из доклада [14*] П. С. Коссовича на Киевском съезде в августе 1898 г.: наименьшую усвояющую способность при этих культурах обнаружили ячмень, просо и лен, наибольшую — горох, гречиха, горчица; но вика и клевер первого года в этих опытах не проявили в ожидаемой мере способности использовать фосфорит.

В цифрах Шрейбера мы также находим факты, говорящие о том, что нельзя всем злакам приписывать одинаковую неспособность растворять фосфат; могар дал иные результаты, чем злаки, испытанные Шрейбером: он обнаружил прирост в 2,85 г под влиянием фосфорита.

Относительно всех вышеприведенных данных возможно одно общее возражение — они выражают собой не количество потребляемой в действительности P_2O_5, а лишь величину урожая, которая может изменяться для разных растений и не пропорционально усвоенной P_2O_5; но эта неточность не в состоянии все же изменить сделанные выводы, так как в вышеприведенных опытах как раз растения, требующие больше фосфор-

---

[14*] Дневник съезда, № 7.

ной кислоты (горох, люпин) для образования единицы сухого вещества, развивались лучше тех, которые содержат ее меньше (как злаки в своих вегетативных органах). При последующих опытах желательным является определение действительно усвоенной фосфорной кислоты [15*].

Вышеприведенные опыты, конечно, только намечают группу фактов, подлежащих дальнейшему более близкому исследованию; только после такого исследования возможно будет характеризовать точнее отдельных представителей культурных растений в их отношениях к удобрению и почвам, точнее мотивировать то положение, которое они должны занимать в севообороте. Чтобы быть более понятным, укажу на возможное значение вышеотмеченного факта, что люпин способен использовать фосфорит, хлеба — нет или почти нет: как известно, люпин является часто предшественником ржи, причем именно люпин получает фосфаты и каинит, а рожь идет по запаханному люпину. Очень может быть, что смысл такого чередования кроется не только в том, что люпин накопляет азот и органическое вещество в почве, а и в том, что он выполняет еще одну задачу, к которой неспособна рожь, а именно переводит малорастворимую фосфорную кислоту почвы и удобрения в состав своей растительной массы, которая, разлагаясь, послужит для ржи источником не только азота, но и фосфорной кислоты.

Перейдем теперь к влиянию *почвы* на результаты фосфоритного удобрения. Уже из одного сопоставления вышеприведенных данных для песчаных культур с результатами опытов А. Н. Энгельгардта в России,

---

[15*] В Bied. Centr. f. Agriculturchemie за 1895 г. мы находим реферат еще об одной работе Шрейбера, в которой при довольно грубой постановке опыта также сравнивалась способность различных растений черпать фосфорную кислоту и калий из малорастворимых соединений почвы; нельзя придавать решающее значение цифрам этого опыта, но некоторые данные все же небезынтересны; так, люпин проявил значительную способность усваивать P_2O_5 и K_2O, свекла — лишь K_2O. Автор приводит длинный список растений, сопровождая их такими же данными, но в остальном они малохарактерны и могли быть следствием причин случайных.

В одном из опытов В. В. Винера растения одного и того же рода (Panicum) обнаружили весьма различное отношение к фосфорнокислому удобрению, а именно урожай (в г) был таков:

	Без удобрения P_2O_5	С растворимой P_2O_5 (в г)	Повышение (в %)
P. miliaceum	21,2	34,2	+61
P. mil. comp	25,0	36,2	+47
P. germanicum (венгерск.)	30,3	44,6	+47
P. germanicum (калифорн.)	34,2	43,8	+28
P. sanguinale	35,7	41,9	+17

По-видимому, менее требовательные виды способны были лучше использовать ту же самую почву и соответственно этому менее реагировали на внесение фосфорной кислоты. Но количество усвоенной P_2O_5 не определялось и здесь.

Руффеля и других лиц во Франции и других странах, в которых наблюдалось повышение урожаев, именно хлебных растений под влиянием фосфорита,— из одного такого сопоставления следует, что деятельная роль во всех этих случаях принадлежала именно почве. Но в чем лежит причина менее удачного применения фосфоритов, например, в черноземной полосе — в особенностях почвы или в особенностях климата?

Путем полевого опыта труднее разобраться в таких вопросах, чем путем более точных опытов в сосудах, так как, переходя из одной местности в другую, мы в большинстве случаев меняем оба фактора сразу — почву и климат; в сосудах же мы можем самые разнообразные почвы поместить при тех же условиях освещения, температуры и влажности и сравнивать их между собой в разных отношениях.

Среди культур 1896 г. мы находим попытку сопоставления нескольких почв по их отношению к фосфатному удобрению; отношение это оказалось весьма различным. Возьмем 4 почвы: чернозем из Воронежской губернии, легкую супесь из Минской губернии (обе почвы получали не раз навозное удобрение), подзолистую почву из лесной дачи сельскохозяйственного института (окрашенную в верхнем слое в темный цвет благодаря перегною) и другую подзолистую почву оттуда же с более светлой окраской (обе последние почвы под культурой не были). На фосфоритное удобрение почвы реагировали следующим образом:

Яровая рожь

Почва	Урожай зерна		Общий вес надземных органов		Повышение урожая (в %)
	без удобрений	с фосфоритом	без удобрений	с фосфоритом	
Чернозем	1,95	2,30	5,65	5,80	+3
Супесь	1,25	1,50	3,55	4,40	+24
Подзол № 1	0,40	4,75	3,30	10,75	+226
Подзол № 2	1,40	3,30	2,35	11,10	+372

Таким образом, фосфорит дал сильное повышение на подзолистых, некультурных почвах; чернозем же совершенно не реагировал на это удобрение. Так как яровая рожь не могла сама по себе пользоваться фосфорной кислотой фосфорита (на основании ранее изложенного), то, очевидно, подзолистые почвы подготовляли фосфорит, действовали на него растворяющим образом, а чернозем этого действия не проявил, хотя все почвы снабжались влагой в одинаковой мере; таким образом, это показание дает повод думать, что опыты с фосфоритами в черноземной полосе были менее успешны по сравнению с нечерноземными не вследствие климатических причин, а вследствие иных свойств почвы. Вывод этот подтверждается и последующими опытами (1897 и 1898 гг.).

В 1897 г. прежде всего проверено было действие фосфоритного удобрения на подзоле № 1; результаты были таковы (для яровой ржи):

Удобрение	1 г KNO_3	1 г KNO_3 и 0,54 г P_2O_5 в виде фосфоритов			
		рязанского	куломзинского	рославльского	подольского
Урожай надземных частей (в %)	100	300	235	234	163

В другом опыте с той же почвой сравнивались различные фосфаты:

Удобрение	1 г KNO_3	1 г KNO_3 + 0,27 г P_2O_5 в виде:				
		томасова шлака	суперфосфата	фосфорита	костной муки	NaH_2PO_4
Урожай (в % от неудобренной)	100	130	153	141	154	175
То же, для зерна	100	132	178	168	190	202

Итак, эта почва оказалась способной приближать действие фосфорита на урожай к действию более ценных, более растворимых фосфатов. То же получилось для торфяно-суглинистой почвы с XII поля фермы (близ Жабенского луга):

	Без удобрения	Фосфорит	Фосфорит и селитра	Суперфосфат и селитра
Урожай надземных органов (в % от неудобренной)	100	153	250	271

Но черноземные почвы, испытанные в 1897 г., опять не обнаружили этой способности воздействовать растворяющим образом на фосфорит и подготовлять его к восприятию корнями хлебных растений. Так, для саратовского чернозема получились следующие данные.

	Без удобрения	Фосфорит	Фосфорит и селитра	Суперфосфат и селитра
Относительный урожай (яровая рожь)	100	110	112	156

Действие фосфорита очень слабо; и это не зависит от большого содержания усвояемой P_2O_5 в почве, так как растворимая P_2O_5 (суперфосфат) действует заметно; причина, очевидно, в том, что здесь почва не могла помочь растению перевести фосфорит в удобоусвояемую форму.

Близкие результаты получились для чернозема нижегородского и херсонского [16*].

Но из северных, даже подзолистых почв, по-видимому, не все реагируют на фосфорит; можно предполагать, что и эти почвы, по мере того как они улучшаются под влиянием обработки и навозного удобрения, мало-помалу теряют способность воздействовать на фосфорит растворяющим образом.

Итак, необходимым условием успешного применения фосфоритного удобрения под хлеба является наличность известных свойств почвы: теперь еще трудно сказать, чем именно обусловлена эта способность северных малокультурных почв, особенно подзолистых, так изменять фосфорит, что он становится источником фосфорной кислоты, легко усвояемой хлебными растениями. Но следует ли из этого, что на почвах, не обладающих кислыми свойствами, или, вообще говоря, безразлично относящихся к фосфориту, мы должны совершенно отказаться от этого более дешевого источника фосфорной кислоты? Некоторые из вышеприведенных фактов заставляют повременить с положительным ответом на такой вопрос. Мы видели, что люпин, горох, горчица, гречиха обладают способностью в известной мере использовать фосфорит и без содействия почвы; очевидно, именно под эти и им подобные растения должно быть испытано фосфоритное удобрение на почвах черноземных и других, неспособных изменять свойства фосфорита. Трудно, конечно, заранее сказать, окажутся ли эти различия между хлебами и другими растениями настолько велики, чтобы сделать применение фосфорита выгодным; этот вопрос уже должен решаться при участии и полевых опытов, но важно при постановке полевых опытов воспользоваться указанием на различие в свойствах разных растений.

Пересматривая прежние опыты, можно встретить иногда подтверждение нашей мысли, что удобрение фосфоритом под горох, люпин и т. д. может дать лучшие результаты, чем при культуре хлебов; так, в книге Марека [17*] находим следующие средние выводы из полевых опытов по удобрению:

	Урожай (в %)	
	хлеба	зерновые бобовые
Без фосфатов	100	100
Фосфорит	102	126
Костная мука	114	126
Томасов шлак	114	145
Перуанское гуано	131	130

Здесь фосфорит, давший для хлеба лишь 2% повышения, для бобовых (гороха и бобов) дал 26%.

[16*] См. «Результаты студенческих работ» за 1897 г. в «Известиях МСХИ» (1898).
[17*] Marek. Über den relativen Düngerwert der Phosphate, s. 77.

В вышеупомянутых работах лаборатории Министерства земледелия (Лесной институт) также есть подтверждение высказанной выше мысли; опыты эти сделаны в сосудах, как и наши, но с различными почвами, при сравнении двух растений — овса и гороха. Остается пожелать, чтобы у нас были предприняты и полевые опыты в этом направлении, особенно в черноземной полосе [18*].

Что касается четвертого из намеченных выше вопросов — о достоинстве разных фосфоритов, то мы обладаем пока немногими опытами. Три раза сравнивались разные фосфориты в песчаных культурах как источник фосфорной кислоты для хлеба. Хлеба вообще в ничтожной мере могли заимствовать из этого источника фосфорную кислоту, так что при этом не получилось резкой разницы для разных фосфоритов — все они дали слишком малые урожаи; можно отметить все же, что подольский фосфорит всякий раз давал наименьший урожай. Такие опыты должны быть повторены с другими растениями — люпином, горохом и др.; тогда различия между фосфоритами могут быть более заметны.

Затем имеется один опыт сравнения разных фосфоритов не в песчаных культурах, а с почвой: данные этого опыта приведены уже выше (опыты 1897 г.), и из них видно, что если принять урожай на почве неудобренной за 100, то подольский фосфорит дал 165, а смоленский, рязанский и куломзинский — от 255 до 300. Значит, на почвах, вообще сильно реагирующих на фосфорит, и подольский фосфорит может иногда действовать, хотя и слабее других. Можно думать поэтому, что безуспешность полевых опытов с подольским фосфоритом зависела не только от свойств самого фосфорита, но и от того, что почвы юго-западной России отличаются от почв северных.

Заметим, что и по отношению к химическим реактивам подольский фосфорит не представляет чего-то *резко* контрастирующего с фосфоритами северными; различия, конечно, есть, но в имеющихся определениях не обнаружилось той крайней противоположности между свойствами, какую можно предполагать на основании принятых в литературе взглядов. Конечно, не показания реактивов окончательно решают вопрос о достоинстве фосфатов, а показания растений, по которым следует подбирать и реактивы; но, пока нет достаточного числа опытов, всякое показание, служащее к характеристике удобрительного материала, является ценным.

[18*] Заметим, что если желать от полевого опыта не только констатирования того, действует ли фосфорит, употребленный на данной почве в одиночку, или не действует, но и некоторой ориентировки в причинах того или иного результата, то нельзя ограничиваться двумя категориями делянок (с фосфоритом и без него), так как отсутствие положительного результата от применения фосфорита может зависеть и от побочных причин, например от нахождения азота в почве в недостаточном количестве; затем важно знать, является ли данная почва вообще чувствительной ко внесению фосфорной кислоты, хотя бы и в растворимой форме; поэтому, для таких опытов желательно держаться, например, следующей схемы: 1) без удобрения; 2) фосфорит; 3) суперфосфат; 4) селитра; 5) селитра+фосфорит; 6) селитра+суперфосфат

В определениях, сделанных Яновчиком в лаборатории Киевского университета, растворимость P_2O_5 фосфоритов в 2%-ной лимонной кислоте характеризуется так:

	Подольский	Курский	Рязанский	Смоленский
Содержание P_2O_5 (в %)	31,61	15,68	18,40	19,74
В том числе растворимой	9,50	10,27	13,29	14,74
То же, в % от всей P_2O_5	30,05	65,48	72,22	74,68

Но подобные данные не являются строго постоянными — вследствие различий отдельных партий одного и того же фосфорита или вследствие различий в обработке 2%-ной лимонной кислотой.

У нас имеются данные для суждения о растворении P_2O_5 фосфоритов не только при однократной, но и при повторной обработке 2%-ной лимонной кислотой (анализы Н. К. Недокучаева); вот в сокращенном виде те результаты:

	P_2O_5, перешедшая в раствор из фосфоритов (в %)			
	куломзинского	михайловского	рязанского	подольского
Через 1 сутки	25,65	35,16	24,80	23,69
Через 10 суток	80,39	79,59	66,58	51,42

В этом опыте брались образцы продажной фосфоритной муки и дальнейшему изменению не подвергались.

В другом опыте (А. Н. Острякова) 2%-ная лимонная кислота извлекала за одни сутки из фосфоритов орловского, рязанского, смоленского и подольского 68,84%, 42,78%, 26,80% и 29,42%; предварительно фосфориты тщательно и одинаково измельчались. Отсюда видно, что 24-часовая вытяжка дает показания, не пропорциональные суммарному действию повторных вытяжек, а затем что хотя разница между фосфоритами при этом и обнаруживается (и притом не в пользу подольского), но она не всегда уже так резка, чтобы можно было *противопоставлять* подольский фосфорит остальным.

Остановимся несколько на попытках подыскать реактив для оценки фосфатов, который давал бы показания, отвечающие более или менее показаниям полевого опыта. В последнее время в Западной Европе идет спор о применении лимоннокислого амммиака как средства для оценки фосфатов, томасовых шлаков в частности, причем Вагнер и Меркер считают возможным принять за правило соответствие между эффектом удобрения и содержанием в нем P_2O_5, растворимой в лимонном аммиаке, а Петерман и Грандо оспаривают существование этой закономерности.

Если принять во внимание вышеприведенные данные и соображения о различии в свойствах растений и почв, то постановка вопроса в такой общей форме кажется следствием некоторого недоразумения, проистекающего вследствие отсутствия расчленения факторов, определяющих эффект удобрения.

В самом деле, если некоторые почвы способны приближать действие

малорастворимых фосфатов к действию суперфосфатов, если известные группы культурных растений способны извлекать фосфорную кислоту из нерастворимых ее форм, то не следует ли ограничить задачу подыскания реактива лишь известными растениями и известными почвами? Можно, например, задаться целью найти растворитель, показания которого отвечали бы усвоению фосфорной кислоты растениями, менее активными (например, хлебными злаками) на почвах; не обладающих способностью изменять существенно свойства фосфорита; допустим, что цель будет достигнута, но она будет достигнута *только* для этих условий, а, например, для люпина показания такого реактива, может быть, не будут иметь никакого значения, а уж во всяком случае значение будет не то же самое; еще резче, конечно, могут влиять свойства почв.

Только при такой, более конкретной постановке и возможно, нужно думать, разрешение спора между названными выше представителями агрономической химии; реактива же общего, дающего ответ, одинаково пригодный для всех растений и всех почв, конечно, быть не может.

Точно так же при отыскании реактивов, позволяющих отличить в почве вещества, усвояемые непосредственно от неусвояемых, придется считаться с относительностью понятий о «богатстве» и «плодородии» почв: то, что для одних растений будет принадлежать к элементам «богатства» в данной почве, то для других будет доступно непосредственно и войдет в группу веществ, определяющих плодородие почвы. Насколько эти колебания будут велики, это, конечно, может показать лишь дальнейшее исследование.

Повторим вкратце выводы из вышеизложенного в общей форме.

Нужно отличать две группы растений (конечно, связанных между собой переходами) по их отношению к фосфорной кислоте минеральных фосфатов — одни способны хотя отчасти ею пользоваться, независимо от содействия почвы, другие же — только при наличности такого содействия. Примерами растений первой группы являются люпин, горох, горчица, гречиха; второй группы — зерновые хлеба. Точно так же нужно различать среди почв такие, которые способны воздействовать растворяющим образом на фосфорит, и такие, которые лишены этой способности; к первой категории относятся главным образом малокультурные торфянистые и подзолистые северные лесные почвы; ко второй, по-видимому, многие (быть может, большинство) из черноземных почв, а из северных — более культурные. Следовательно, для того, чтобы фосфорит действовал, необходима наличность или известных свойств почвы, или известных особенностей культурного растения (не говоря, конечно, об условиях общих, как нахождение фосфорной кислоты в минимуме и т. д.).

При попытках оценивать фосфаты путем применения растворителей необходимо принимать во внимание относительность показаний этих растворителей и не требовать от них невозможного, имея в виду разнообразие условий, влияющих на результаты применения того или иного фосфата.

НОВЫЙ СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ ФОСФОРИТОВ *

Предложенный Либихом способ превращения трудонорасторимых фосфатов в растворимую форму нашел широкое приложение в суперфосфатной промышленности, зародившейся первоначально в Англии, но затем вскоре перешедшей и достигшей громадного развития в Германии, где спустя 60 лет после выхода книги Либиха работало свыше 100 суперфосфатных заводов.

Но при всей важности и изученности деталей основной реакции, служащей для превращения фосфоритов в суперфосфат, все-таки не везде и не всегда ею с одинаковым успехом можно воспользоваться. Дело в том, что при этом способе могут перерабатываться лишь высокопроцентные фосфориты, так как он основан на простом смешении сырого материала с серной кислотой (без извлечения фосфорной кислоты); следовательно, если фосфорит содержит много примесей (песок, глину), то они останутся и в суперфосфате, образуя балласт, удорожающий перевозку. Мало того, процент фосфорной кислоты в суперфосфате неизбежно еще понижается по сравнению с исходным материалом вследствие того, что в состав конечного продукта входят новые составные части — серная кислота и вода (химически связанная). Если мы ради простоты предположим, что имеем дело с чистым и безводным фосфатом $Ca_3(PO_4)_2$, содержащим в таком виде 45,8% фосфорной кислоты, то основное уравнение будет иметь такой вид:



$$Ca_3(PO_4)_2+2H_2SO_4+5H_2O=Ca(H_2PO_4)_2\cdot H_2O+2(CaSO_4\cdot 2H_2O).$$

В конечном продукте окажется лишь 23,8% фосфорной кислоты. Мы взяли невозможный в действительности случай химически чистого препарата; в самых лучших материалах, встречающихся в действительности, нужно содержание фосфорной кислоты считать процентов на 10 ниже; но это не мешает наглядности примера, а одновременно показывает, что обыкновенный суперфосфат не может в самом идеальном случае содержать фосфорной кислоты выше 20 с небольшим процентов.

Поэтому, если желают перерабатывать низкопроцентные фосфориты, то этот способ не приложим, как не допускающий обогащения, концентрации фосфорной кислоты, неизбежно связанный с дальнейшим разжижением ее содержания.

---

* Печатается по тексту первого издания. Впервые опубликовано в Вестнике сельского хозяйства за 1908 г., № 23.

То же самое относится ко всем способам, основанным на сплавлении фосфоритов с содой, сернокислым натром, карналлитом; кроме того, все эти способы требуют значительного расхода на топливо **.

Другая категория способов основана на переведении фосфорной кислоты в раствор и последующей ее концентрации или путем физическим — выпариванием раствора (двойной суперфосфат), или путем химическим — осаждением фосфорной кислоты из раствора в виде хорошо усвояемого (хотя и нерастворимого в воде) двухкальциевого фосфата ($CaHPO_4$).

Последний прием был использован при фабрикации преципитата, связанной до сих пор с наличностью дешевой соляной кислоты; действуя ею на фосфориты, получают «солянокислую вытяжку», содержащую всю фосфорную кислоту (и хлористый кальций), а нерастворенными остаются песок и глина, бывшие в фосфорите; от них раствор отделяется простой декантацией. Затем введением известкового молока осаждают из раствора всю фосфорную кислоту; осадок промывают для удаления хлористого кальция и сушат (не слишком нагревая).

Полученный продукт содержит 30—35% фосфорной кислоты в усвояемой форме, причем это высокое содержание достигается совершенно независимо от состава исходного продукта. Одно время казалось, что появление на рынке томасова шлака убило приготовление преципитатов, так как оба продукта содержат «полурастворимый» фосфат. Заметим, что здесь есть некоторое сходство по усвояемости, и то неполное, а не химическое тождество, но один из них требует специального производства, а другой получается как отброс или побочный продукт другого производства.

Однако в последнее время в Швеции делаются новые шаги к возрождению фабрикации осажденного фосфата, на новых основаниях, когда не требуется для производства готовой соляной кислоты, а требуется лишь электрическая энергия.

Новый способ, предложенный профессором Пальмером в Стокгольме, состоит в следующем: материалом служит апатит, который даже не требует особенно тонкого размола. В специально построенном аппарате подвергается электризации раствор хлорнокислого натра ($NaClO_4$), причем в анодном отделении образуется хлорная кислота ($HClO_4$), кислую жидкость проводят через батарею деревянных ящиков, наполненных фосфоритом (система методического выщелачивания). Насыщенный фосфорной кислотой раствор направляется навстречу щелочной катодной жидкости (содержащей NaOH), количество которой регулируется так, чтобы при

** Сюда относится способ Виборга, по которому апатит, сплавленный с содой, дает продукт хорошей усвояемости, содержащий, по-видимому, тетрафосфат, подобно томасову шлаку; способ Вольтерса, основанный на сплавлении с кислым, сернокислым натром; способ Истгаарда, сплавляющего с карналлитом и кизеритом, и другие варианты этого «скандинавского направления».

смешении получилась слабощелочная реакция; тогда сполна осаждается фосфорная кислота в виде белого, мелкокристаллического осадка двухкальциевого фосфата. Осадок отделяется от раствора, промывается от легкоразложимых хлорнокислых солей и сушится, раствор же (содержащий $^1/_3$ кальция апатита) смешивается с остатком катодной жидкости, причем выпадает большая часть извести в виде гидрата; по его отделении остаток извести удаляется углекислотой, а раствор, содержащий регенерированный $NaClO_4$, возвращается назад в аппарат; таким образом, то же самое количество соли работает постоянно, с пополнением небольших потерь.

Полученный продукт содержит 36—38% P_2O_5, из которой 95% растворимо в лимоннокислом аммиаке. Хорошая усвояемость кальциевого фосфата достаточно известна; он мало уступает суперфосфату на нормальных почвах, но на песках и торфянистых почвах он может даже его превосходить. Метод Пальмера, основанный на многолетних лабораторных исследованиях, в последнее время испытывался на заводе, располагающем электрической энергией, с достаточным успехом.

Нельзя отказать в изяществе этому способу, состоящему в употреблении электрической энергии на отнятие одного атома Ca от $Ca_3(PO_4)_2$.

В будущем эти методы, как позволяющие переработку малопроцентных фосфоритов (лишь бы они не были богаты $CaCO_3$), конечно, будут иметь значение и для нас; пока же утешительно и то, что увеличение путей приготовления усвояемых фосфатов будет увеличивать число заводов на Западе, создавая конкуренцию разных направлений, способствовать удешевлению продуктов. Очевидно, путей этих будет много. Считаем нужным отметить интересную мысль, высказанную профессором Лидовым, — это предложение использовать азотную кислоту, получаемую в Ноттодене, на разложение фосфатов; в самом деле, является вопрос, зачем тратится даром энергия на разложение известняка (нейтрализация), когда можно разлагать этой кислотой фосфориты?

Позволим себе продолжить развитие этой мысли и высказать предположение, что «ноттоденскую» кислоту, быть может, удобно будет использовать именно для приготовления преципитата, так как при приготовлении суперфосфата с азотной кислотой встретится ряд неудобств; если же раствор азотной кислоты направлять на фосфорит, получать вытяжку, содержащую азотнокислый кальций и фосфорную кислоту, затем фосфорную осаждать известковым молоком, а раствор $Ca(NO_3)_2$ выпаривать и продавать, как теперь, на удобрение, то неудобства, по-видимому, были бы избегнуты, и электрическая энергия, затраченная на получение азотной кислоты из воздуха, была бы полнее использована.

КАКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ИМЕЮТ ФОСФОРИТЫ ПРИ НЕПОСРЕДСТВЕННОМ ИХ ПРИМЕНЕНИИ *

Вопрос о значении «сырых» (т. е. не переработанных химически) фосфоритов является одним из вопросов, при разрешении которых с наибольшей ясностью сказалось все значение методического расчленения отдельных факторов, влияющих на результат опыта с удобрением, которое с наибольшей легкостью и последовательностью достигается в так называемом вегетационном методе. Если мы обратимся к состоянию этого вопроса 15 лет тому назад, то должны будем припомнить ряд взаимно противоречащих положений, к которым пришли в разных работах и которые казались не поддающимися согласованию. Так, в Германии считалось установленным, что сырой фосфорит не фосфорнокислое удобрение, а лишь материал для приготовления такового; во Франции, в Бретании, на основании опытов Риффеля и других, находили возможным применять фосфоритную муку; также и у нас: с одной стороны, Энгельгардт наблюдал несомненное действие фосфоритов в Смоленской губернии [10], с другой же стороны, в черноземных губерниях наблюдался ряд неудач при подобных опытах. Разнообразие результатов полевого опыта могло находить различные объяснения; так, высказывалось предположение, что здесь может играть роль климат, вызывающий недостаток растворяющего начала в почвах черноземной полосы; но с таким же основанием могло быть высказано мнение, что решающая роль здесь принадлежит почве, а в дополнение к тому и другому объяснению могло быть еще сделано указание, что если отдельные опыты делались с разными растениями, то остается еще неясным, какое влияние при этом имела природа растения.

Чтобы получить представление о том, насколько трудно было тогда разобраться в разнообразных многочисленных полевых опытах, достаточно перелистать объемистый свод этих результатов, составленный к выставке 1895 г. по поручению Московского общества сельского хозяйства А. П. Яновским **: Крайняя пестрота данных заставила автора отказаться от общих выводов и ограничиться предоставлением в распоряжение читателя всей суммы противоречивых фактов в возможно компактном изложении (на пространстве свыше 700 страниц).

Вегетационный метод в этом случае дает возможность пойти более быстрыми шагами, чем опыт полевой, ибо он позволяет испытать при

* Печатается по тексту Юбилейного сборника [11], т. 11. «Работник просвещения». М., 1928, стр. 293—297. Впервые опубликовано в отчете «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», т. VI, 1911.

** Труды комиссии по Отделу искусственных удобрений. М., 1895.

одной и той же почве влияние разных степеней влажности или, наоборот, при одной и той же относительной влажности (освещении, температуре) сравнить отношение разных почв к фосфориту; он позволяет, наконец, вовсе исключить фактор «почва» и наблюдать отношение того или иного растения к фосфориту в безразличной среде — в песчаных или водных культурах. В таком опыте растение своим ростом само дает ответ на вопрос, может оно что-либо заимствовать из фосфорита без содействия почвы или не может.

Когда нам в 1896 г. пришлось впервые организовать занятия студентов по ознакомлению с вегетационным методом, то естественным образом темы по фосфоритному вопросу заняли при этом видное место. При этом данные песчаных культур 1896 г. были столь неблагоприятны для фосфоритов, что мы даже предположили какую-либо погрешность; но последующие годы показали, что погрешности здесь не было, что фосфорит сам по себе действительно для хлебных злаков недоступен. В том же 1896 г. было испытано действие фосфорита на хлеба на разных почвах, причем обнаружилось, что на почвах нейтральных картина получается та же, что в песчаных культурах (никакого действия фосфорита на хлеба), и только на почвах торфянистых и подзолистых фосфорит оказывался удобрением, пригодным для хлебных злаков (благодаря растворяющему воздействию этих почв на фосфорит). Таким образом, уже эти первые опыты 1896 г. обнаружили все значение почвы; очевидно, опыты А. Н. Энгельгардта потому имели успех, что произведены были в районе подзолистых почв; точно так же неуспех курского и подольского фосфоритов, помимо различия в растворимости самих фосфоритов, объясняется прежде всего свойствами почв южной России.

1897 г. принес нам первые данные по влиянию природы растения: именно некоторые растения (не из числа господствующих в нашей культуре) оказались обладающими большей растворяющей способностью корневой системы, чем хлеба, так что могли заимствовать фосфорную кислоту даже из фосфорита сами по себе, без содействия кислой реакции почвы; сюда относятся люпины, гречиха, горох, горчица. Сначала мы судили об использовании фосфорита просто по урожаям растений; в 1898 г. это подтверждено было анализами, произведенными в Сельскохозяйственной лаборатории в Петербурге (см. отчет профессора П. С. Коссовича).

В последующие годы была с большей обстоятельностью изучена последовательность расположения различных фосфатов по убывающей усвояемости (суперфосфат, преципитат, томасов шлак, костяная мука, фосфорит), причем наиболее резкое падение по усвояемости в этом ряду наблюдается для хлебов (от 100 почти до нуля, например, в случае проса), смягченное понижение той же кривой наблюдается для гречихи, а для люпина падение может вовсе не наблюдаться (если только не ввести подольский фосфорит, который не поддается вполне даже воздействию корневой системы люпина). Такая схема (могущая быть изображенной кри-

выми линиями в одной плоскости остается верной при нейтральной среде, т. е. в песчаных культурах, на песчаных, черноземных почвах и на неоподзоленных суглинках; но на торфяных и подзолистых почвах картина может быть затушевана благодаря растворяющему действию почвы, которая более или менее выравнивает действие всех фосфоритов. Если же мы захотим изобразить на одной схеме вышеуказанные отношения между фосфатами, почвами и растениями, то придется прибегнуть к изображению в пространстве с тремя осями координат; на горизонтальной оси расположить, например, фосфаты в порядке их усвояемости, на вертикальной — растения в порядке убывающей энергии усвоения ими P_2O_5 из малорастворимых источников, на третьей, перпендикулярной к плоскости двух первых, — почвы, тоже в известной последовательности, по способности растворяющим образом действовать на фосфаты. Если таким образом построить модель, сложенную из кубиков, и придать им окраску, по интенсивности отвечающую действию фосфата (в зависимости от совокупности его свойств, свойств почвы и свойства растения), то получим ряд оттенков, дающих понятие о сложности отношений, имеющих место в действительности (см. схему) [3*].

Но и такая схема не охватывает еще затрагиваемых явлений сполна, именно эта схема построена в предположении, что почвы, рассматриваемые нами, нуждаются в фосфорнокислом удобрении потому, что они бедны фосфорной кислотой вообще; между тем почвы могут содержать разные формы фосфорнокислых соединений, из которых одни растения могут использовать большие, другие — меньшие количества [4*]; поэтому одна и та же почва может то реагировать на фосфорнокислое удобрение, то относиться к нему совершенно безразлично, смотря по тому, какое растение мы возьмем для опыта. Основными, на наш взгляд, являются следующие четыре случая:

1. Никакие фосфорнокислые удобрения не действуют ни на какие культуры; очевидно, это имеет место в том случае, когда почва богата фосфорной кислотой в удобоусвояемой форме.

2. Растворимая фосфорная кислота удобрений действует на хлеба, но не действует на гречиху и люпин; это значит, что в почве мало легкоусвояемой фосфорной кислоты, но ее много в элементах «богатства почвы». Фосфорит в этом случае не действует вовсе (не действует на хлеба, потому что он им недоступен, а на гречиху и люпин потому, что эти растения и в почве находят готовый запас аналогичных малорастворимых соединений и не нуждаются в удобрении).

3. Растворимая фосфорная кислота удобрений действует на все растения, а фосфорит — только на гречиху, люпин и подобные растения;

[3*] Предложена автором в 1899 г., упоминается в печатном курсе «Учение об удобрении», начиная с 1-го издания (1900, стр. 119).

[4*] См. рельефные иллюстрации в «Трудах С.-Петербургской сельскохозяйственной лаборатории» (тт. IV и VI, статьи П. С. Коссовича и К. К. Гедройца).

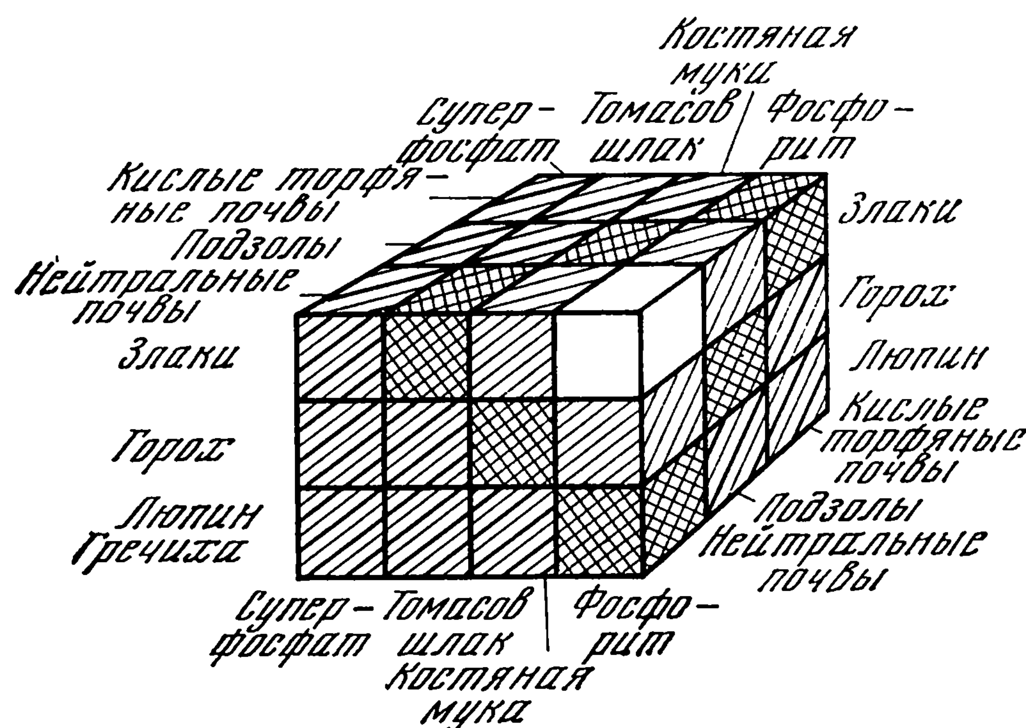


Схема действия фосфатов в зависимости от **свойств растений**, почв и удобрений

это указывает, что в почве есть общий недостаток в фосфорной кислоте, но данная почва лишена кислых свойств.

4. Все фосфаты (в том числе и фосфориты) действуют на все культуры; очевидно, почва, при общем недостатке в фосфорной кислоте, обладает ясно выраженными кислыми свойствами [5*].

Таким образом, фосфориты могут действовать на хлеба только на известных видах почв (торфянистых и подзолистых), но не являются для них общим средством поднятия урожаев; даже тогда, когда почва заведомо нуждается в фосфорной кислоте, фосфорит не подействует на хлебные злаки, если почва не обладает способностью его растворять [6*].

Только некоторые растения, не играющие видной роли в нашей культуре, могут сами по себе справляться с фосфоритами; но эти растения реже других нуждаются и в фосфорнокислом удобрении, ибо способны использовать и в почве самые труднодоступные формы фосфорнокислых соединений.

Итак, вопрос о фосфоритной муке, как непосредственном удобрении, можно считать разъясненным в основных чертах в вышеназванных работах; если теперь мы приводим здесь результаты новых опытов с фосфоритами, то они были предприняты не потому, чтобы у нас являлись какие-либо сомнения в этом отношении, но лишь в целях некоторой дальнейшей детализации вопроса. Благодаря геологическим исследовани-

---

[5*] Точнее будет сказать: «растворяющей способностью», но здесь цитирована буквально наша формулировка 1901 г.

[6*] Кроме почвы, растению могут помогать воспользоваться фосфоритом некоторые из сопутствующих удобрений, как, например, соли аммония; мы впервые столкнулись с их действием в 1900 г. (см. соответственный отчет о вегетационных опытах); затем это явление изучалось более детально, притом, кроме нашей лаборатории, еще в С.-Петербурге — П. С. Коссовичем, Новой Александрии — Панковым, Геттингене — Зельхорстом (Seelhorst), Бреславле — Пфейффером (Pfeiffer), Берне — Лихти (Liechti), Стокгольме — Зедербаумом (Soderbaum) и Христиании — Себелином (Sebelien). Последний наблюдал сильное растворяющее действие сернокислого аммония в песчаной почве даже на апатит (Bied. Centralblatt, 1909, 801).

ям, ведущимся под руководством Я. В. Самойлова, теперь собирается обширный материал, происхождение и состав которого могут быть точно охарактеризованы (т. е., например, можно говорить не только о костромском фосфорите, но и различать разные ярусы тех же костромских залежей); может явиться вопрос, все ли ярусы содержат фосфорит одинаковой усвояемости (или неусвояемости), причем если эти разницы не могут быть уловлены при культуре хлебов, то не удастся ли установить различие с помощью растений, более энергично воздействующих на субстрат, как люпин, горчица и гречиха [7*].

Затем, если вообще является установленной способность известных почв (например, подзола) действовать растворяющим образом на фосфорит, то далеко не выяснено, в связи с какой составной частью или особенностью подзола стоит эта способность и как ее учесть путем аналитическим (если это вообще окажется возможным). Далее, если в песчаных культурах и на почвах, бедных основаниями, некоторые сопутствующие удобрения могут вызвать растворение фосфорита (сернокислый аммоний), то в какой мере это явление способно проявиться на других почвах? Вот ряд вопросов, для которых еще остается место при исследовании фосфоритов.

[7*] В 1910 г. мы действительно наблюдали случай повышенной усвояемости для некоторых горизонтов фосфоритных залежей Симбирской губернии, согласно высказанному выше предположению.

О ЗНАЧЕНИИ ФОСФАТОВ ДЛЯ НАШЕГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И О РАСШИРЕНИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРИТОВ *

Фосфорнокислые удобрения занимают первое место среди всей массы минеральных удобрений, применяемых теперь на земном шаре, они же являются первыми и по времени введения — с них начинаются в истории сельского хозяйства первые шаги в поисках материалов, способных заменять навоз и исправлять его недостатки; и Россия не составляет исключения из общего правила. Еще до войны 1914 г. выяснилось, что именно фосфаты дают у нас наибольший положительный результат, а теперь мы стоим перед очередной задачей — сделать фосфаты доступными массе земледельческого населения.

Причины этого особенного положения фосфатов в ряду других удобрений лежат не только в том, что почвы, вообще говоря, бедны фосфорной кислотой: даже если взять почвы с одинаковой степенью первоначальной обеспеченности азотом, фосфором и калием, то все же потребность во внесении фосфатов скажется раньше и в дальнейшем будет выражена острее, чем потребность в удобрениях азотистых и калийных. Здесь влияют известные особенности круговорота веществ в хозяйстве, прежде всего — неравномерность в отчуждении отдельных питательных веществ из почвы. С зерном и продуктами животноводства, вывозимыми из хозяйства, отчуждаются безвозвратно главным образом фосфор и азот, но сравнительно мало калия, ибо бóльшая часть калия содержится не в зерне, а в соломе, которая дает материал для образования навоза; все равно, идет ли солома в подстилку или часть ее скармливается животным, калий переходит в составные части навоза. Поэтому для калия возвращение в почву довольно хорошо обеспечивается с того момента, как навоз начинает употребляться на удобрение, а не на топливо, как это имеет место в первобытном степном хозяйстве. Даже, более того, может случиться, что происходит обогащение почвы калием, хотя калийных удобрений хозяйство не приобретает; это бывает тогда, когда хозяйство имеет луга; тогда происходит перемещение калия из почвы лугов в почву полей через сено и навоз. Вот почему потребность в калийных удобрениях может долго не проявляться или проявляться только после удовлетворения потребности в других питательных веществах. Конечно, исключение могут составлять хозяйства с почвами, выдающимися по

* Печатается по тексту, опубликованному в Юбилейном сборнике «Статьи и научные работы Д. Н. Прянишникова», т. 2, 1928, стр. 297—307. Впервые напечатано в книге «Фосфориты как непосредственное удобрение».— Труды НИУ, вып. 12, 1924. стр. 19—30.

бедности калием (как торфяные, бедные песчаные и сильно оподзоленные почвы), но в остальных случаях вопрос о калийных удобрениях не является острым.

Не то для фосфора: как бы правильно ни хранился и применялся навоз, он не может вернуть почве того, чего он сам не содержит, т. е. крупной доли фосфора, отчужденного из хозяйства в проданном зерне, костях животных, в молоке и пр.; таким образом, почва постепенно, но неуклонно теряет свой фосфор (или по крайней мере его усвояемую часть), и за известным пределом (для большей части России уже наступившим) фосфор попадает в положение того «минимального фактора», которого наиболее недостает для получения хорошего урожая.

Казалось бы, то же самое должно относиться к азоту: он также содержится большей частью в зерне, а не в соломе, также отчуждается из хозяйства. Но дело в том, что для азота имеются «смягчающие обстоятельства»: здесь, кроме статей расхода, имеются такие статьи прихода, которых нет для фосфора.

Самым мощным противовесом истощения почвы азотом является культура клевера, люпина и других азотособирателей, обогащающих почву азотом за счет воздуха или непосредственно, как при запахивании люпина, или отчасти после прохождения кормов через скотный двор, как это имеет место при культуре клевера. Этот путь особенно важен для северной половины России, где почвы бедны азотом. Чернозем же настолько богат им, что даже в районах старой культуры внесение азотистых удобрений излишне: достаточно путем правильной обработки создать условия, благоприятные для разложения перегноя, чтобы вызвать обильное образование нитратов.

Таким образом, в отношении азота на черноземе мы имеем случай, когда стремление мобилизовать запасы питательных веществ самой почвы путем обработки, действительно, находит свое полное осуществление.

Но тот же чернозем в районах старой культуры (т. е. за исключением степного юго-востока) обнаруживает ясно выраженный «фосфатный голод», сказывающийся здесь с тем большей рельефностью, что и навозное удобрение лишь сравнительно недавно стало применяться на черноземе (мы говорим о сравнительной недавности, имея в виду, что начало безнавозной культуры иногда могло иметь место во времена, предшествующие крещению Руси). Данные Харьковской опытной станции показали, что местный чернозем требует *только внесения фосфора* для получения высокого урожая и почти все действие навоза сводится к действию фосфора, азот же навоза никакой роли не играет; это видно, например, из следующих цифр **, представляющих пятилетние средние (в ц/га).

	Без удобрения	Селитра	Суперфосфат	Навоз
Урожай ржи	12,9	12,4	21,5	23,0

** **Рождественский, Заславский.** Главнейшие выводы из полевых опытов 1913—1917 гг. Харьков, 1922.

Здесь навоз дает 10,1 ц прироста, из которых 8,6 ц заведомо относятся к фосфору (относятся ли остальные 1,5 ц к другим сторонам действия навоза, т. е. органическому веществу и внесенным с ним бактериям, или не исключена возможность, что с навозом дано больше фосфора, чем с суперфосфатом, из краткого отчета не видно).

В данном и подобных ему случаях мы имеем для нашего чернозема редкую комбинацию, чрезвычайно выгодную для введения минеральных удобрений,— тут найден резко выраженный минимальный фактор; достаточно внести только фосфор, не затрачивая средств на азот и калий (как это необходимо на Западе), чтобы почти полностью заменить навоз, да еще сэкономить на возке последнего, ибо доставка на поле 3 ц суперфосфата представляет какую-либо сотую часть работы по сравнению с возкой 300—500 ц навоза; делая культуру хлебов менее трудоемкой, этот прием способен при наличности дешевого суперфосфата существенно понизить стоимость производства центнера зерна.

Интересен еще один вывод Харьковской опытной станции, гласящий, что для местного чернозема удобрение важнее, чем обработка; он основан на следующих цифрах (в ц/га):

	Вспашка пара	
	ранняя	поздняя
Урожай без удобрения	19,1	15,5
» при удобрении	44,5	23,7

А так как в удобрении активная роль принадлежит только фосфору, то отсюда следует, что ранняя обработка пара не в состоянии дать для фосфора того, что она дает для азота чернозема, т. е. накопить достаточно растворимых соединений, обеспечивающих хорошее развитие растений: нужно вносить фосфор в виде навоза или фосфатов.

Харьковские данные не стоят особняком: в Полтавском районе на типичных черноземах суперфосфат дает приросты в 4,5—5,3 ц; в Черниговской губернии (Носовская станция) наблюдалось сильное действие суперфосфата после клевера (6,0 ц прироста); в Тульской губернии (Шатиловская опытная станция) фосфаты в бесклеверном пару дают такую же прибавку, как навоз (5,3 ц), в Смоленской губернии (Энгельгардтовская станция) получены приросты в 7 ц от фосфатов на пустошных землях и 3,3—4,2 ц на старопашке. Общих норм, конечно, дать нельзя, нужно учитывать различные местные особенности; так, в Московской губернии при коллективных опытах действие минеральных удобрений сильнее сказалось на овсе, картофеле и клевере, чем на ржи (вследствие заплывания на зиму оподзоленных почв); с другой стороны, юго-восток пока еще вовсе не нуждается в удобрении (даже навозное удобрение там еще не применяется).

Итак, мы имеем если не везде, то все же на громадных площадях и в довольно разнообразных районах ярко выраженный благоприятный

«технический фон» для применения фосфатов, и те количества их, которые могут быть с пользой применены даже при современных приемах культуры при севооборотах, еще очень бедных промышленными культурами, чрезвычайно велики.

Однако одного «технического фона» еще недостаточно для широкого применения фосфатов, нужно посмотреть, кроме того, как обстоит дело с *«экономическим фоном»*.

Здесь мы наталкиваемся на необходимость расчленения вопроса, ибо решение может слагаться для разных фосфатов и разных культур неодинаково, и нам в России гораздо больше, чем Западной Европе, приходится думать над этим расчленением. Там, где фосфаты дешевы, а продукты полеводства дороги, там предпочитают наиболее простое решение — берут наиболее усвояемые источники фосфора, суперфосфат и томасов шлак, как удобрения наиболее универсального действия, требующие минимальной дозы знания и потому минимального инструктирования при их применении. Широкое применение этих фосфатов под хлеба связано с тем непременным условием, чтобы цены на удобрения были значительно ниже цен на хлеб; таков и есть в действительности экономический фон для применения фосфатов в тех странах Запада, которые при отсутствии парового клина получают двойные и тройные урожаи против наших (и своих прежних) благодаря широкому применению минеральных удобрений, при одновременном развитии культуры азотособирателей и пропашных растений.

Если мы возьмем Францию, то в июле 1923 г. имело место следующее соотношение цен:

100 кг пшеницы	95 франков
100 » суперфосфата (14%)	19 »
100 » томасова шлака	13,6 »

т. е. цена на суперфосфат составляла одну пятую стоимости пшеницы, а на томасов шлак — одну седьмую последней.

Германия испытывает острый «фосфатный голод», благодаря которому к весне 1923 г. цены на суперфосфат в Германии достигли 1/2 стоимости пшеницы. Довоенные же цены (1913 г.) в Германии:

Рожь	17 марок	томасов шлак	4 марки	за центнер
Пшеница	20 »	суперфосфат	6,3 »	

т. е. цена на шлак равнялась одной пятой, а на суперфосфат — одной трети цены на пшеницу. Теперь посмотрим, по каким ценам наша промышленность дает земледелию суперфосфат. Оказывается, до октября 1923 г. мы имеем то же соотношение, как во Франции, но вывернутое наизнанку: в Харькове цена на суперфосфат равнялась стоимости 4,5 ц ржи [3*].

[3*] К январю 1924 г. отношение сузилось до 1 : 2,5.

При таком соотношении «ножницы» в корень подрезают всякую возможность использования суперфосфата под хлеба. Однако не следует думать, что суперфосфат у нас дорог только по отношению к дешевому хлебу; если мы сравним цены в золоте, то для Франции это составит 2 р. 20 коп., а для России — 6 р. 80 коп. за 1 ц суперфосфата (для октября 1923 г.).

Привозной суперфосфат, доходя до меридиана Москвы, приобретает цену почти равную с ценой ржи, а к востоку становится дороже последней, и думать о том, чтобы дать населению суперфостат по цене в одну пятую цены хлеба, как во Франции, для нас вообще трудно; в лучшем случае, если наша химическая промышленность сравняется с западной, можно ждать, что цена на суперфосфат приблизится к половине стоимости пуда ржи (и то считая цены ржи по Москве).

Вот почему не только теперь, но еще надолго и в будущем применение суперфосфата будет связано с промышленными культурами; при культуре хлеба наше внимание должно быть, где только возможно, обращено на самый дешевый источник фосфора — на фосфориты, единица фосфорной кислоты в которых до войны 1914 г. была в 4 раза, а теперь в 8 раз дешевле, чем в суперфосфате, причем очевидна возможность и дальнейшего удешевления их (до $^1/_{15}$—$^1/_{20}$ против суперфосфата). *Этот источник, конечно, не столь универсален, он не везде может быть утилизирован* (как раз на типичном черноземе он не может заменять суперфосфат и шлак), *но все возможности его применения должны быть использованы*; а возможности эти оказываются, по новым данным наших опытных станций, *гораздо более широкими, чем думали раньше*. При этом получится еще выгода на транспорте, ибо низкопроцентные фосфориты, пригодные для простого размола, мы имеем в столь многих губерниях, что здесь не для чего очень центрировать добычу и размол фосфоритов (как в случае суперфосфатного производства), здесь не нужно подвозить колчедан с Урала, а нужно разбросать в подходящих районах целую сеть рудников и мельниц, хотя бы полукустарного типа, для обслуживания местных нужд при минимальном транспорте.

Конечно, для применения фосфоритной муки нужно больше знания, значит, больше работы опытных учреждений, большее инструктирование населения; т. е. «*нам нельзя заменять недостаток знания* (особенностей фосфатов, особенностей местных почв, культивируемых растений и пр.) *избытком суперфосфата*» (выражение профессора Леммермана).

Но, как было отмечено выше, и теперь уже наметились перспективы крупного расширения сферы возможного применения фосфоритной муки; так, к классическому случаю с северными оподзоленными почвами, на которых положительное действие фосфорита было подмечено еще в 90-х годах Энгельгардтом, недавно присоединился другой весьма важный факт, установленный Лебедянцевым,— возможность замены суперфосфата фосфоритом в обширном районе выщелоченных черноземов (а этот район в сельскохозяйственном отношении имеет большее значение, чем зона

подзолов). Затем установлена высокая способность к разложению фосфорита корневой системой люпина, которому предстоит сыграть видную роль в поднятии продуктивности песчаных почв средней России (а может быть, и северной); далее, достигнуты значительные успехи в деле применения торфа к разложению фосфорита и найден ключ к пониманию роли нейтральных солей при этом процессе; установлено растворяющее влияние на фосфорит солей аммония с сильными кислотами, а также в известной мере и всякого другого азотистого удобрения, подлежащего нитрификации; а в последнее время не только нитрификация, но и сульфофикация привлекает к себе внимание исследователей как фактор разложения фосфатов в почве; этим еще не исчерпывается список возможностей разложения фосфоритов доступными в хозяйстве способами без содействия фабрики. Отметим, что некоторые особенные фосфориты, как сенгилеевский, не требуют разложения, ибо обладают усвояемостью, близкой к томасову шлаку. Рассмотрим несколько подробнее те из намеченных приемов, которые уже в настоящее время имеют для нас непосредственное значение.

Первый случай удачного применения фосфоритной муки наблюдался А. Н. Энгельгардтом на *оподзоленных почвах*; данные А. Н. Энгельгардта нашли блестящее подтверждение в последующих опытах Энгельгардтовской опытной станции. Конечно, для проявления действия фосфорита в условиях нечернозема нужно, чтобы наличность азота была обеспечена или культурой клевера, или оставлением почвы в залежи (пустошь); кроме того, имеются наблюдения, что растворяющая способность почвы тем больше, чем почва менее культурна, с культурой же растворяющая способность почвы может понижаться, очевидно, в связи с ослаблением той «ненасыщенности основаниями», которая свойственна подзолам (или, иначе, наличности незамещенного водорода в том цеолитоподобном почвенном комплексе, от которого зависят реакции обменного разложения).

Соответственно этому наибольшие эффекты от фосфорита получаются на пустошных землях, на которых достигаются приросты в 6 ц зерна при внесении 5,4 ц смоленского фосфорита, как видно из следующих цифр (среднее за 4 года, в ц):

Без удобрения	Фосфорит *	Томасов шлак	Навоз (36 т)
7,5	13,9	13,2	15,3

* В фосфорите дано в $1^1/_2$ раза больше фосфорной кислоты, чем в шлаке (см.: Мейерсон. «Сельскохозяйственная жизнь», 1921, № 20).

На старопахотных землях фосфорит дает приросты в 5 ц по безнавозным парам, например:

	Без удобрения	Фосфорит	Навоз (18 т)
Урожай ржи (в ц/га)	10,9	15,9	16,8

По клеверищу получаются прибавки около 3,3—3,5 ц в среднем.

Таким образом, для подзолистых почв введение фосфорита в значительной мере помогает смягчить остроту хронического недостатка навоза, что хорошо оценили крестьяне Сещинского района; но в других случаях требуется еще распространение сведений о возможности и желательности использования фосфоритной муки на подзолах.

Второй обширный почвенный район, на котором применению фосфорита может предстоять еще более широкое будущее, открыт работами Шатиловской опытной станции. Это — преддверие чернозема, район Тульской, Орловской и соседних с ними губерний. Это — район почв, богатых азотом, но бедных фосфором, приобретших известную степень ненасыщенности благодаря выщелачиванию черноземов, занятых лесами. Здесь не нужно ни залежи, ни клевера, чтобы фосфор действовал, причем вполне возможна замена суперфосфата повышенной дозой фосфорита; вот средние данные Шатиловской станции (в ц/га):

Без удобрения	Фосфорит	Навоз	Навоз + фосфорит
16,1	21,3	21,3	23,4

Фосфорит дает 5,2 ц повышения и заменяет собой навоз (о дозе фосфорита поговорим ниже отдельно). Площадь, занятую этими почвами в средней России, А. Н. Лебедянцев оценивает в 22—28 млн. га, а возможная потребность в фосфорите для заправки этих почв — 1,7 млн. т (если ежегодно удобрять 1/10 пашни). Но такие же почвы должны встретиться и по обе стороны от Тульской губернии, вдоль по северной границе чернозема, а может быть, даже переваливают через Урал в Сибирь; точное установление границ этого рода почв — благодарная задача для почвоведов и опытников.

Этому открытию, сделанному на Шатиловской станции, мы придаем большое значение, так как здесь имеются два крупных преимущества перед районом оподзоленных почв: 1) это район более земледельческий, в нем гораздо больший процент пашни; 2) здесь высокое содержание азота в почве, калия тоже пока довольно, фосфор поставлен в положение определенного минимума, а это есть самый выгодный случай для применения минеральных удобрений — достаточно нажать на один рычаг, чтобы значительно поднять урожай; и ко всему этому обнаружена возможность использовать самый дешевый фосфат — фосфоритную муку.

Но, кроме особенностей почвы, разложение фосфорита в хозяйстве можно реализовать с помощью некоторых растений, таков люпин, этот энергичный азотособиратель, на Западе давно известный как верный «мелиоратор песчаных почв»; он выделился при наших первых опытах (1896) из всех растений по наиболее энергичной способности разлагать фосфорит своими корневыми выделениями. Это обстоятельство, вместе с глубоким проникновением корней, а следовательно, сильным использованием

подпочвы и позволяет люпину, как никакому другому азотособирателю, давать пышное развитие при освоении бедных песчаных почв, даже без всякого удобрения, и накоплять в своей массе не меньше питательных веществ, чем их содержится в полном навозном удобрении; поэтому-то рожь, идущая по запаханному люпину, способна давать двойные урожаи против пара неудобренного (данные коллективных опытов Черниговского земства и Новозыбковской станции). Однако при дальнейшем повторении этого приема, благодаря усиленному отчуждению из почвы фосфора и калия при повышенных урожаях, люпин потребует минеральных удобрений, вот тут-то фосфорит и окажет крупную услугу; и если еще удастся использовать дешевый источник калия (например, глаконитовые пески), то люпиновое удобрение не временно только, а постоянно будет заменять всегда недостающий на песчаных почвах навоз. Люпину, несомненно, предстоит крупное будущее в деле улучшения наших песчаных почв,— а через люпин и фосфорит становится пригодным для этих почв: *тут люпин будет заменять и суперфосфатный завод, разлагая кислыми выделениями фосфорит, и завод воздушной селитры или синтетического аммиака*, связывая азот воздуха бактероидной тканью своих клубеньков, при том *все это за счет той же солнечной энергии*, которая используется листьями люпина для синтеза органического вещества и громадный избыток которой остается еще и при этом неиспользованным.

Таким образом, посев люпина в пару на зеленое удобрение является дешевым приемом «выращивания навоза» на самом поле, подлежащем удобрению (без дорогой возки), но это всего легче осуществляется, если хозяйство имеет свои семена; поэтому район наиболее легкого осуществления комбинации «люпин+фосфорит» ограничивается к северу линией, идущей через Смоленскую губернию, юг Московской, север Рязанской, юг Владимирской и дальше к востоку через юг Нижегородской и Казанской губерний (северная граница вызревания на семена однолетнего люпина). К северу от этой границы можно применять фосфорит под люпин многолетний, способный еще более изменить к лучшему свойства песчаных почв, но не путем высева в паровом поле, а путем «люпиновой залежи» на особых внесевооборотных участках.

Четвертый путь разложения фосфорита у себя в хозяйстве, которому должно принадлежать большое распространение в северной половине России, состоит в *компостировании фосфорита с торфом*. Имеются опыты, в которых разложение фосфорита сфагновым торфом при широком отношении между количествами первого и второго (приблизительно 1 : 90) [4*] достигало 69%, причем определялся процент водорастворимой P_2O_5 по отношению ко всему ее количеству, тогда им здесь правильнее определить сумму лимонно-растворимой P_2O_5. Кроме того, полнота разложения

[4*] П. Р. Купреенко. Влияние торфа на разложение фосфорита.— Известия Петровской академии, 1920.

может быть повышена введением нейтральных солей сильных кислот (KCl, NH_4Cl и др.).

Это направление должно быть связано в одно целое с использованием азота и органического вещества торфа для приготовления навоза и компоста. Опыты станции по вопросам питания растений (Петровская академия) показали, что даже в моховом торфе азот поддается «мобилизации» и становится доступным растениям под влиянием деятельности бактерий; комбинируя компостирование «кислое» для разложения фосфорита в одной части компоста с компостированием щелочным (с золой и известью) в другой части компоста и соединяя затем обе половины в заключительной стадии нейтрального «биологического» компостирования, мы можем получить полное удобрение, способное заменить навоз.

Ввиду того что на нашем севере уже практикуется применение торфа в подстилку ради увеличения массы навоза[5*], но отсутствие фосфорита создает часто одностороннее преобладание азота в таком навозе, север представляет особенно благодарную почву для распространения фосфоритно-торфяного компоста; однако не для чего дожидаться постепенного распространения этого приема прямым заимствованием от деревни до деревни; не трудно создать новые центры применения в различных местах нахождения торфа, где есть (или куда легко может быть доставлен) также и фосфорит.

Эти четыре пути являются главнейшими, они могут теперь же быть использованы в жизни, причем может быть потреблено такое количество фосфоритной муки, которое совершенно несоизмеримо с теперешними возможностями снабжения ею.

Что касается пятого случая — использование сернокислого аммония как растворителя для фосфорита, он будет более интересен для интенсивных культур, чем для хлебов, ибо это растворитель не дешевый; то же относится к смеси кровяной муки с фосфоритом при рядовом внесении (которое скорее всего может быть испытано при культуре сахарной свеклы), а также и к опытам с сульфофикацией, пока их не удалось перенести от серы к колчедану.

Поэтому мы не будем больше останавливаться на этих путях и обратим внимание на одну сторону, которая является важной при использовании первых четырех, более проторенных путей: во всех случаях успех фосфоритного удобрения достигался ценой удвоения или утроения количества P_2O_5, внесенного с фосфоритом, по сравнению с суперфосфатом. Отчего, казалось бы, не удвоить дозы, если единица P_2O_5 в фосфорите будет в 16 раз дешевле, чем в суперфосфате, и внесенный в почву избыток все равно не пропадает — он будет использован следующими культурами. Но всякое повышение единовременной затраты в на-

---

[5*] И. Н. Бирюзов. О применении торфяного удобрения в Архангельской губернии.— Сельское и лесное хозяйство, 1924, № 1.

ших условиях есть минус, а потому полезно подвергнуть проверке самое положение о необходимости столь сильного повышения дозы фосфоритов.

Оно, казалось, установлено постоянным опытом; но все эмпирические данные кажутся непреложными, пока мы не знаем причин явлений и их внутренней связи, а если они будут известны, то может найтись рычаг, способный совершенно изменить результат.

Если мы спросим, почему именно нужны повышенные *дозы фосфорита*, то, вероятно, первый ответ, который кажется напрашивающимся, будет состоять в том, что почвенная кислотность (в чем бы она ни состояла) есть кислотность слабая, разложение идет неполно, а потому нужно дать больше материала, чтобы накопилось достаточно растворимой фосфорной кислоты.

Но если кислотность мала, то мы избытком фосфорита не поможем (он даже может вызвать преципитирование первых порций растворенной P_2O_5); скорее, тут можно подозревать другое — при обычном запахивании недостаточна поверхность соприкосновения фосфорита с почвой, он плохо с ней смешивается. Для проверки этого предположения желательно поставить опыты с предварительным смешением однократной дозы фосфорита с каким-либо инертным материалом (песком, землей) в двойном или четверном количестве, в целях более равномерного распределения фосфорита, при усилении смешивания с почвой также и при самой заделке. Может быть, кроме инертного материала, стоит испытать смешение с торфяным порошком, чтобы создать условия для лучшего разложения фосфорита и хорошего распределения его в почве. Кроме того, можно попробовать «мобилизовать» и самую кислотность почвы; мы имеем в виду следующие соображения; известно, что так называемые кислые почвы имеют вовсе не большую кислотность почвенного раствора, а их кислотность является потенциальной; они способны связать значительное количество оснований при титровании растворимой щелочью. Это может зависеть от того, что не замещенный основаниями водород входит в состав очень мало растворимых соединений; но можно выявить эту скрытую кислотность прибавлением любой нейтральной соли (что вызывает вытеснение ионов водорода из сложных цеолитоподобных соединений; если мы ввели $NaCl$, то в растворе получается известное количество HCl, как показал К. К. Гедройц).

Так вот, нельзя ли, внося с фосфоритом в почву любую нейтральную соль и освобождая ионы водорода от пленения в нерастворимой цеолитной части (или в органическом веществе, что безразлично для нашей цели), достигнуть более равномерного разложения фосфорита и этим понизить норму внесения до равной хотя бы с томасовым шлаком?

Наверное, найдутся и другие приемы для достижения этой (и смежных) задачи, исчерпать их a priori невозможно. Мы хотели бы только подчеркнуть, что не следует успокаиваться на признании неизбежности удвоения или утроения доз фосфорной кислоты в фосфорите, нужно *настой-*

чиво продолжать дело исследования по вопросам применения фосфоритной муки как в означенном, так и в других направлениях.

Подводя краткий итог всему сказанному, мы можем к северу от типичного чернозема, требующего суперфосфата, наметить следующие области возможного применения фосфорита, отличающиеся друг от друга по роду растворителя и по источнику азота:

1. Зона выщелоченных черноземов; источник азота — перегной почвы, растворитель — ненасыщенные соединения цеолитоподобной и гуматной части почвы.

2. Зона вызревания синего люпина на семена в пределах нечернозема (между границей чернозема и 55-параллелью); растворитель — корневые выделения люпина, источник азота — атмосфера (с помощью клубеньковых бактерий люпина).

3. Зона оподзоленных почв; растворитель — ненасыщенные соединения почвы; источник азота — атмосфера (при помощи клевера или залежи).

4. Зона значительного распространения торфяников; растворитель — гумусовые кислоты торфа, источник азота — тот же торф, подготовленный компостированием.

Эти зоны, конечно, частью входят одна в другую, что особенно относится к третьей и четвертой из числа их.

ЗНАЧЕНИЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ[12]

СОЛИКАМСКИЙ КАЛИЙ И НАШЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ *

Залежи калийных солей, обнаруженные близ Соликамска, имеют большое значение не только в смысле возможности использования их для экспорта, но и с точки зрения интересов нашего земледелия.

Уже то, что определенно констатировано до сих пор исследованиями на пространстве 40 кв. км, говорит об очень крупных запасах калия, а так как соленосные пласты залегают почти горизонтально и все до сих пор сделанные скважины обнаруживают большое постоянство в характере и последовательности отложений, то нужно ожидать что *дальнейшие бурения обнаружат мощные запасы на площади значительно большей*; и если теперь открытые запасы калия превышают то, что имеет Франция в Эльзасе, то, по подсчетам геологов, в дальнейшем с значительным вероятием *можно ожидать обнаружения запасов, превосходящих наиболее богатые из до сих пор известных месторождений,* как Стассфурт, известный с 1856 г.

Долголетний опыт Германии по использованию этих месторождений представляет для нас большую ценность. Самым важным результатом этого опыта можно считать установление той относительной роли, какую играют промышленность и сельское хозяйство в деле потребления калия на разных этапах развития страны. Сельское хозяйство из равноправного участника постепенно стало главным потребителем калийных солей.

Так как применение разных видов минеральных удобрений является в значительной мере взаимно связанным (нельзя давать только калий, если почва бедна азотом и фосфором, и наоборот), то современное развитие азотной и фосфатной промышленности в Германии и удешевление соответственных удобрений также чрезвычайно способствуют росту потребления калийных солей. И это выгодное соотношение цен позволяет немецким сельским хозяйствам применять столь громадные

* Печатается с сокращениями по тексту, опубликованному в Юбилейном сборнике «Статьи и научные работы Д. Н. Прянишникова», т. 1, 1927, стр. 473—477. Впервые опубликовано в газете «Известия», 17.XII 1926 (№ 292).

количества минеральных удобрений, что на каждую десятину посева в среднем приходится 10 пудов одних только калийных солей (1,5 ц на гектар), а всего минеральных удобрений в среднем вносится 3,3 ц/га посева.

Если взять этот масштаб в качестве хотя бы отдаленного маяка для нашей промышленности и сделать пересчет на посевную площадь, то это означало бы *для СССР потребление калийных солей в размере 13,2 млн. т ежегодно.*

При вопросе о районах сбыта на ближайшее время предстоит считаться с существенной переменой «калийного фронта», *прежде* с калийными солями были больше всего знакомы западные нечерноземные губернии (Витебская, Псковская), смежные с Прибалтикой, а по мере удаления от Риги дорожали удобрения при одновременном падении цен на хлеб по направлению к востоку России; поэтому *возможность применения солей калия быстро убывала от запада к востоку.*

Теперь мы должны иметь обратную картину: применение калия должно идти зонами от нового центра (Соликамск) с последовательно убывающей возможностью применения сырых солей по мере возрастания радиуса, и агропропаганда прежде всего понадобится в местах, раньше с этим видом удобрения незнакомых, т. е. в *Приуралье, откуда калийные соли должны пойти прежде всего вниз по Каме,* но далее скорее *вверх по Волге и ее притокам к западу,* чем вниз по Волге, к югу, сообразно географическому распределению почв и культур, которые прежде всего предъявят спрос на калий.

Имея в виду преимущественно сбыт сырых солей, которые и в Германии играют главную роль ($^2/_3$ сельскохозяйственного сбыта приходятся на каинит), *мы должны в первую очередь наметить растения, отзывчивые на внесение калия* и в то же время нечувствительные к избытку хлористого натрия, содержащегося в сырых солях. Из технических культур сюда относится прежде всего *лен,* для которого поваренная соль в известных пределах не только безвредна, но даже может оказывать благоприятное действие. Далее, в нечерноземной полосе *клевер* явится растением, часто отзывающимся на калийное удобрение при нетребовательности к форме внесения последнего; предоставление калия и фосфора не только повышает урожаи самого клевера без расхода на азотистые удобрения, но еще и сильно повышает значение этого азотособирателя как хорошего предшественника для ценных культур (того же льна). Этот тип применения калийно-фосфатного удобрения в клеверно-льняных районах должен быть признан для наших условий наиболее рациональным, ибо азот воздуха при нем вовлекается в круговорот хозяйства в значительно большей мере и хозяйство выигрывает на большем количестве клевера (а значит, и навоза) и на бóльших урожаях непосредственно следующих за клевером культур, благодаря азоту в корневых остатках клевера и обогащению почвы фосфором и калием, который с клевером только частично уносится из почвы.

Другой азотособиратель — *люпин*, так хорошо подготовляющий песчаные почвы для культуры хлебов и картофеля, требует именно калийного удобрения в первую очередь (данные Новозыбковской станции). *Луга*, если они не являются заливными, так же хорошо реагируют на внесение калия — притом в любой форме.

Несколько иначе обстоит дело с *картофелем*; это растение берет много калия из почвы, часто отзывчиво на внесение калия (особенно на песчаных почвах), но под влиянием хлористого натрия понижается содержание крахмала в картофеле; поэтому здесь нельзя так смело применять низкопроцентное сырье, как в случае льна и клевера, *лучше брать 30—40%-ные соли,* как содержащие меньше примесей (но здесь имеются приемы, смягчающие жесткость этого правила).

Сахарная свекла, как и картофель, по составу золы принадлежит к числу «калийных» растений; но так как она у нас возделывается в значительной мере на богатых черноземах, нуждающихся раньше в фосфорной кислоте, чем в калии, то далеко не везде эта культура будет предъявлять теперь же спрос на калий. Здесь предпочтительно применять высокопроцентные соли вместо низкопроцентных. Но нужно сказать, что и по условиям транспорта, ввиду отдаленности свеклосахарного района от Соликамска, высокопроцентные соли должны в этом районе найти преимущественное применение, если бы даже речь шла об удобрении клевера, а не свеклы.

Не будем здесь говорить о других культурах: сказанного достаточно, чтобы видеть, что теперь же, *не прибегая даже к обогащению калийных солей, мы можем рассчитывать на применение их в нечерноземной полосе под целый ряд культур* (*лен, клевер, луга, люпин, с известными предосторожностями — картофель*); но затем, при переходе к обогащенным продуктам, с одной стороны, и в связи с развитием азотной и фосфоритной промышленности — с другой, калийные соли будут завоевывать все бо́льшую и бо́льшую часть нашей культурной площади и применение их будет расти.

ОТНОШЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КУЛЬТУР К КАЛИЙНЫМ УДОБРЕНИЯМ И ВОЗМОЖНЫЙ СПРОС НА КАЛИЙНЫЕ СОЛИ СО СТОРОНЫ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА *

I. ОТНОШЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КУЛЬТУР К КАЛИЙНЫМ УДОБРЕНИЯМ

Калий является одним из элементов, безусловно необходимых для жизни растений, притом количественное участие его в зольной части значительно у всех растений, а у некоторых из них на окись калия приходится свыше 50% всего количества золы в растении (например, в клубнях картофеля).

Сообразно разному содержанию калия и разной величине урожая, разные растения на той же почве при одинаковом удобрении уносят в своих урожаях неодинаковые количества калия с единицы площади. Так, по данным, полученным в Германии Шнейдевиндом (Schneidewind), в среднем за ряд лет наблюдались такие различия для отдельных культур (в кг с 1 га).

	K_2O	P_2O_5	N		K_2O	P_2O_5	N
Пшеница	82	36	86	Сахарная свекла	232	69	201
Рожь	105	46	69	Кормовая свекла	253	73	183
Картофель	166	37	113				

Итак, калия уносится с урожаем всегда больше, чем фосфора, а часто и азота.

Однако решающее значение в определении потребности тех или иных культур в калийном удобрении имеют не только состав растений и валовые количества калия в урожае, но и следующие обстоятельства: 1) насколько почва богата калием хотя бы в малорастворимых соединениях; 2) какова способность корневой системы растения использовать малорастворимые запасы калия в почве, если таковые имеются в значительном количестве; 3) какова судьба зольных веществ урожая при последующем его использовании.

Бедностью соединениями калия отличаются песчаные и супесчаные почвы, подзолы и осушенные торфяники; эти почвы могут при самом начале культуры нуждаться в заправке калием, особенно при возделывании растений с большим содержанием калия в золе. Но суглинки, глины и типичные черноземы обычно содержат значительные количества калия, поэтому на них потребность в калийных удобрениях появляется *после*

---

* Печатается по тексту, опубликованному впервые в «Трудах Научного института по удобрениям», вып. 50, 1928, стр. 32.

удовлетворения потребности в фосфоре и азоте. Влияние круговорота веществ в хозяйстве сказывается на потребности отдельных угодий в калийном удобрении вполне определенным образом; так, луга раньше начинают требовать калия, чем пашня, потому что луга у нас не получают навозного удобрения и весь калий, уносимый с укосами травы, переносится затем вместе с навозом на поле; поэтому происходит *систематическое перекачивание калия из почвы лугов в почву полей* (это касается калия больше, чем фосфора, так как луговые травы косятся до плодоношения, когда отложение фосфора в семенах еще не имело места; калий же содержится главным образом в стеблях, и потому отчуждение его преобладает над отчуждением фосфора). Таким образом, *удобрение лугов калийными солями является способом* не только поднять укосы травы на самом лугу, но и *увеличить приток калия в почву полей.* Однако луга далеко не всегда имеются в хозяйстве в должном количестве, поэтому общим такое решение вопроса не является. При культуре зерновых хлебов, если навоз правильно применяется, вопрос о возвращении значительной части калия разрешается сам собой; так, содержание калия выше в стеблевых органах (соломе) и ниже в зерне, например (в %):

	Зерно	Солома
Рожь	0,54	0,80
Овес	0,42	0,97

Так как масса соломы больше, чем масса зерна, то большая часть калия, взятого из почвы хлебами, возвращается в нее обратно с навозом; только в зерне калий отчуждается безвозвратно (однако значительная часть наших полей не получает должных количеств навоза).

При культуре льна мы имеем полное отчуждение калия, в значительном количестве содержащегося в стеблях,— лен вовсе не дает материала для образования навоза. Поэтому расширение льняной культуры тесно связано с введением минеральных удобрений, в частности калийных солей. При культуре табака и подсолнечника точно так же калий обычно уходит целиком на сторону.

При культуре картофеля и корнеплодов, зола которых очень богата калием, приходится различать два случая сообразно последующему использованию урожая; если корни и клубни идут в корм скоту, то калий возвращается в почву вместе с навозом; если же они отвозятся на завод, то калий отчуждается безвозвратно.

Здесь мы имеем в то же время пример высокой усвояющей способности корневой системы по отношению к калию: из той же самой почвы (например, суглинка) эти растения способны взять гораздо больше калия, чем хлеба. Но само собой разумеется, что если почва вообще бедна калием (как песчаные, торфяные почвы и подзолы), то никакая усвояющая способность уже не поможет. Таким образом, размер действия калийных удобрений на отдельные культуры является некоторой равнодействующей

довольно сложного взаимодействия ряда факторов; свойства почвы, состав растения, его усвояющая способность по отношению к калию, а также и дальнейшая судьба урожая оказывают в конце концов существенное влияние на потребность в калийном удобрении при той или иной культуре.

Поэтому можно было бы опасаться, что общих правил по применению калийных солей ни для одной культуры дать нельзя. Однако все же возможно выбрать наичаще встречающиеся комплексы условий и применительно к ним отметить требования, которые могут предъявлять к количеству и качеству калийных удобрений главные наши культуры; краткую формулировку таких требований мы и постараемся дать.

1. Удобрение лугов калийными солями

Урожай лугового сена в 37,5 ц берет около 60 кг K_2O с гектара (в то время как фосфорной кислоты такой урожай содержит лишь около 16 кг). При отзывчивости луговых трав к калийным удобрениям благодаря указанной ранее причине мы имеем в то же время здесь дело с нечувствительностью к примесям хлоридов, поэтому возможно применение «сырых» солей, не только каинита, но и карналлита. В Германии при дешевых ценах на каинит (13% K_2O) нередко вносят его на лугах в больших количествах, например до 7,5 ц на гектар, но большей частью достаточно дать 375—450 кг на гектар, причем чаще всего удобрение разбрасывают с осени (калий хорошо поглощается почвой, поэтому не боится вымывания); часто каинит применяют одновременно с фосфатами (томасовым шлаком), экономя на азотистых удобрениях, если в состав луговой флоры вводят бобовые. Более всего заметно действие калийных солей на заболоченных лугах после их осушки, меньше эффект на суглинистых и глинистых почвах; на песчаных и супесчаных почвах он опять возрастает; при этом не только увеличивается урожай, но меняется и характер растительности: исчезают мхи, Carex, Juncus, Phragmites; получают преобладание ценные злаки: тимофеевка, ежа, овсяница, лисохвост, мятлики, а особенно выигрывают мотыльковые: клевер красный и белый, виды Vicea, Lathyrus, Lotus.

2. Удобрение клевера и других посевных трав

Все сказанное о лугах в значительной степени приложимо и к полевому травосеянию; правда, травы сеют часто по ржи, удобряемой навозом, но на все поля навоза обычно не хватает, поэтому на азотособирателях, уносящих калия больше, чем хлеба, наблюдается значительное действие калийных солей. Характерные наблюдения относительно действия калийного удобрения на клевер принадлежат А. Н. Энгельгардту, с успехом применявшему каинит на тощих старопахотных землях, плохо удобрявшихся навозом, и на недавно распаханных «пустошах и облогах»,

если эти земли под хлеба были удобряемы только фосфатами. «Стоит только на чахлую пожелтевшую отаву, отросшую после уборки клевера, бросить горсть каинита, чтобы через месяц на этом месте появились роскошные, сочные, темно-зеленые кусты клевера» («Земл. газета», 1892).

Для удобрения клевера, так же как и на лугах, нет надобности прибегать к высокопроцентным солям — избыток хлоридов не вредит; но разбрасывать соли следует не по растущему клеверу, а с осени или ранней весной, до появления молодых листиков. После клевера, хорошо развившегося под влиянием удобрения калийными солями и суперфосфатом, превосходно удается лен, так как почва обогащается азотом, а кроме того, в ней остается еще достаточный запас калия и фосфора, чтобы обеспечить хороший урожай льна.

Еще чаще, чем на клевере, наблюдается благоприятное действие калийных солей на сераделле, этом «клевере песчаных почв».

3. Удобрение зерновых бобовых

Из этой группы растений сильнее всех реагируют на калий люпины; при высокой усвояющей способности люпина по отношению к фосфору, при большой энергии усвоения свободного азота это растение, названное в Германии «благословением песчаных почв», в первую очередь реагирует на калий; исторически известное хозяйство Шульца в Люпице было тем первым очагом, откуда стала распространяться культура люпина на зеленое удобрение по калий-фосфатному удобрению (безнавозное хозяйство на песках), и успех калийных удобрений на люпине был одним из видных успехов Стассфурта. У Шульца был, между прочим, участок с беспрерывной культурой люпина (на корм овцам), на котором через несколько лет проявилось «люпиноутомление», т. е. урожаи стали падать; лекарство было найдено в каините — 6 ц на гектар восстановили пышный рост люпина на этой делянке, и культура продолжалась непрерывно 24 года (после смерти Шульца дальнейших сообщений не последовало). У нас культура люпина подлежит расширению. Имеются опыты Новозыбковской станции, специально изучающей культуру песков, обнаружившие, что и в наших условиях, при повторении культуры люпина, он в первую очередь проявляет нужду в калийном удобрении. Кроме люпина, горох и чечевица при культуре на легких почвах также хорошо реагируют на калийное удобрение. И для этой группы растений могут идти низкопроцентные соли — примесь $NaCl$ не вредит.

4. Отношение льна, конопли и хлопчатника к калийным солям

Помимо случаев посева льна по клеверу, получившему калийное удобрение, непосредственное внесение калийных солей под лен также имеет большое значение: как растение, возделываемое ради стеблей и не даю-

щее материала для образования навоза, лен требует пополнения запасов усвояемого калия в почве и хорошо реагирует на все виды калийных солей. Лен не только нечувствителен к примесям хлористого натрия (в смысле отрицательного влияния), но и встречаются положительные результаты даже от удобрения льна самой поваренной солью, поэтому низкопроцентные калийные соли беспрепятственно могут вноситься под лен. На сильно оподзоленных почвах лучше комбинировать внесение калийных солей под лен с внесением томасова шлака или фосфорита, чем суперфосфата, иначе возможно излишнее подкисление почвенного раствора.

Что касается конопли, то, вообще говоря, она так же отзывчива на калийное удобрение, как и лен, но при нашей обычной культуре — не в поле, а на коноплянниках, бессменно — конопля получает столь большие количества навоза, что не требует дополнительного внесения минеральных удобрений. Такое состояние коноплеводства не может быть, однако, признано нормальным, так как при этом не хватает навоза для удобрения парового поля. На Западе давно перешли к культуре конопли в чередовании с другими растениями, в частности к культуре конопли на волокно в паровом поле; при этом удобрение, вносимое под коноплю, используется и другими растениями. Переход к этой системе у нас станет более возможным с введением минеральных удобрений, причем найдут применение и калийные соли.

Что касается *хлопчатника*, то опытов с ним недостаточно; считается, что лёсс достаточно богат калием при ясно выраженном недостатке азота и фосфора. Во всяком случае, до разрешения острого для Туркестана фосфатно-азотного вопроса нельзя ожидать применения там калийных солей в заметных размерах.

5. Удобрение картофеля

Картофель — типичное «калийное» растение, обычно реагирующее на внесение калия, если непосредственно под него не вносится навоз; на бедных песчаных почвах внесение калия нередко оказывается для картофеля даже более необходимым, чем внесение азота и фосфора; во всяком случае, хорошие урожаи достижимы лишь при внесении полного удобрения. Но форма калийного удобрения для картофеля *далеко не безразлична,* в отличие от льна, клевера и луговых трав; именно при употреблении низкопроцентных солей, богатых хлористым натрием, обычно замечается наряду с повышением урожая понижение качества картофеля — он становится менее крахмалистым; нередко это стоит в связи с более поздним созреванием картофеля, удобряемого такими солями.

Поэтому под картофель лучше применять 30—40%-ные соли, чем 13%-ный каинит. На почвах с хорошей поглотительной способностью советуют применять каинит под картофель, внося удобрение с осени, с тем чтобы калий поглотился почвой, а $NaCl$ и $CaCl_2$ (образующиеся за счет

вытеснения Са из цеолитной части почвы) вымывались осенними и зимними осадками. Кроме того, можно низкопроцентные соли вносить под предыдущий хлеб с известным излишком, с таким расчетом, чтобы достаточно калия (в поглощенной форме) осталось и для картофеля, а хлористые соли более полно были вымыты из почвы осадками.

6. Сахарная свекла и другие корнеплоды

Растения этой группы уносят еще более калия в своих урожаях, чем картофель; тем не менее при их возделывании спрос на калий следует за удовлетворением потребности в азоте и фосфоре, а не предшествует ему. Дело в том, что корнеплоды возделываются не на бедных песчаных, торфяных и подзолистых почвах, а на черноземных почвах и суглинках, имеющих большие запасы калия; кроме того, усвояющая способность этих растений к калию гораздо выше, чем по отношению к фосфору. Тем не менее на известного рода почвах (переходных к черноземным) констатировано положительное действие калийных солей на сахарную свеклу.

Но низкопроцентные соли под свеклу еще менее годятся, чем под картофель, так как здесь, кроме понижения процента сахара, приходится опасаться еще увеличения количества «несахара» в соке свеклы — хлористый натрий (и другие соли) играют на заводе роль «патокообразователей», т. е. мешают кристаллизации сахара. Поэтому на заводе придают значение не только сахаристости, но и «доброкачественности» сока свеклы, понимая под этим процентное отношение несахара к сумме сухих веществ в соке.

Правда, современные высокоселекционные сорта сахарной свеклы более устойчивы в своих свойствах, чем прежние сорта, но это касается сохранения процента сахара, увеличения же процента несахара все-таки следует опасаться. Поэтому под сахарную свеклу должны применяться более высокопроцентные соли (с 30% и более K_2O).

Кормовые корнеплоды не предъявляют особых требований к форме калийного удобрения, так как «доброкачественность» сока в этом случае роли не играет (то же относится к полусахарным сортам свеклы, имеющим значение для винокурения) [13].

7. Табак

Это растение требует значительных количеств калия и не отличается хорошей усвояющей способностью по отношению к калию почвы; поэтому калийные удобрения при культуре табака на Западе имеют большое значение. Однако для ценных сортов табака (особенно сигарных) нельзя применять не только низкопроцентные соли, содержащие много NaCl, но приходится избегать даже хлористого калия, предпочитая калий сернокислый, углекислый и азотнокислый. Дело в том, что хлористые соли по своей легкоплавкости мешают полному сгоранию органических веществ

табачного листа и делают табак «тяжелым» (много продуктов сухой перегонки), в то время как углекислый калий, наоборот, способствует полному сгоранию и повышает качество табака.

Однако все это относится только к высокоценному табаку; при грубых сортах, где больше обращается внимания на массу, чем на качество урожая, требования эти смягчаются.

8. Подсолнечник

Зола подсолнечника чрезвычайно богата калием; известно, что она служит для добывания поташа, который вывозился через Новороссийск во Францию в довольно большом количестве.

Но так как этой культурой Западная Европа не занимается, а у нас она развита в юго-восточных губерниях, где удобрения вообще не применяются, то фактических данных для суждения о размере влияния калийных солей на урожай подсолнечника у нас недостаточно.

9. Зерновые хлеба

Применение калийных солей под хлеба может иметь место в районах наибольшей дешевизны этих солей. Опыт Германии показывает, что рожь и овес чаще реагируют на калийные соли, чем пшеница; это объясняется тем, что пшеница возделывается на лучших почвах и получает больше навоза, а рожь и овес часто возделываются на бедных почвах, производящих мало кормов и потому страдающих от хронического безнавозья. Хлебные злаки нечувствительны к внесению хлористых солей, поэтому низкопроцентные соли могут здесь найти применение. Таким образом, удобрение калийными солями ржи, предшествующей картофелю, может иметь значение как способ использования дешевых (низкопроцентных) калийных солей не только для поднятия урожаев самой ржи, но и для обогащения калием почвы (и навоза) в целях поднятия урожаев картофеля без риска понижения крахмалистости от непосредственного влияния хлористых солей.

При культуре ячменя калийное удобрение считается особенно желательным, если ячмень культивируется в качестве пивоваренного ячменя. В наших условиях в первое время наиболее целесообразно будет вносить калий не под самые хлеба, а под предшествующие им бобовые (клевер и люпин) [14].

В итоге можно различить три типа культур по разному отношению их к калию и разному влиянию на общие резервы калия в хозяйстве:

1) культуры, требующие много калия и безвозвратно уносящие его из хозяйства (заводские корнеплоды и картофель, лен и табак);

2) культуры, содержащие в урожае много калия, отзывчивые на калийные удобрения, но потребляемые в хозяйстве и пригодные для вве-

дения калия в хозяйственный круговорот (клевер, люцерна, луговые травы) **;

3) культуры, не выдающиеся по требовательности к калию и на три четверти возвращающие потребленный калий обратно в почву вместе с навозом [3*],— таковы зерновые хлеба.

Отсюда видно, что переход от зернового трехполья к плодосмену связан с введением растений, потребляющих много калия и в значительной степени уносящих его из хозяйства безвозвратно (промышленные культуры).

Таким образом, *интенсификация сельского хозяйства должна сопровождаться усилением спроса на калийное удобрение наряду с другими видами минеральных удобрений* [4*].

Затем все рассуждения о возвращении калия с навозом имеют силу для хозяйств, интересующихся поддержанием урожаев на достигнутом, удовлетворяющем хозяйство уровне; мы же отстаем по урожайности и должны поднимать наши урожаи.

Поэтому все расчеты, относящиеся к хозяйствам, находящимся в состоянии равновесия, к нам не относятся — нам нужно резко повернуть в сторону поднятия урожаев, что при недостатке навоза возможно только с помощью минеральных удобрений.

II. РАЗМЕР ВОЗМОЖНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Пример Германии показывает, что калийная промышленность может достигнуть весьма крупных размеров, если она базируется на удовлетворении нужд земледелия; при должном соотношении цен земледелие способно потребить несравненно большие количества калия, чем химическая промышленность, даже в такой стране, где последняя сильно развита; приведем основные данные для Германии.

Общее количество калийных солей, добываемых в Германии, достигает 11 млн. т; около половины потребляется внутри страны, остальное служит для экспорта; из того количества калия, которое потребляется самой Германией, доли сельского хозяйства и промышленности изменялись постепенно в следующем направлении.

** Конечно, полное возвращение калия в почву возможно только при правильном хранении навоза (без потерь навозной жижи).

[3*] Но не следует преувеличивать значения этого возвращения — весьма крупная часть наших паровых полей не получает навоза из-за его недостатка.

[4*] Ввиду того что чернозем и лёсс богаче калием, чем северные почвы, в первую очередь калийные соли потребуются в нечерноземной области под лен, картофель, клевер и луговые травы.

Годы	Общая добыча (в тыс. т)	От внутреннего потребления приходится (в %)		Годы	Общая добыча (в тыс. т)	От внутреннего потребления приходится (в %)	
		на сельское хозяйство	на химическую промышленность			на сельское хозяйство	на химическую промышленность
1880	668	42,5	57,5	1910	8 160	88,3	11,7
1890	1 279	58,4	41,6	1913	11 607	92,0	8,0
1900	3 037	76,7	23,3	1920	11 386	93,8	6,2

Отсюда видно, что, постепенно возрастая, доля земледелия в потреблении калийных солей достигла, наконец, такого отношения к доле химической промышленности, которое равно 15 : 1 (причем абсолютное потребление в промышленности также возросло). Это было возможно, конечно, благодаря тому, что не только сами калийные соли при массовой добыче доставлялись дешево, но одновременно развилась фосфатная, а затем и азотная промышленность, и все три вида удобрений могли находить широкое применение, облегчая взаимно одно другому возможность все большего и большего распространения, ибо наивысшие урожаи достигаются только при внесении полного удобрения, а не одностороннего обогащения почвы отдельными элементами пищи растения, причем очень часто калий начинает действовать после того, как удовлетворена потребность в фосфоре и азоте.

До какой степени крупное механизированное производство позволило удешевить калийные соли, видно из того, что в июне 1926 г. каинит — главный продукт из числа доставляемых Стассфуртом (с 13% окиси калия) — продавался в Германии по 0,5 коп. за 1 кг (от 10 до 11 марок за тонну); а так как цены на хлеб и другие сельскохозяйственные продукты в Германии значительно выше наших, то понятно, что имеются налицо все условия для самого широкого применения удобрений.

Приведем сопоставление цен на пшеницу и на минеральные удобрения в Германии за июнь 1926 г. (в марках за 100 кг).

Пшеница	30,0	Томасов шлак	4,2
Каинит (13% K_2O)	1,8	Селитра	20,0
40%-ная соль	6,6	Серно-аммиачная соль	18,0
Суперфосфат	6,1	Цианамид	14,7

Благодаря выгодному соотношению цен общее количество минеральных удобрений, применяемых в Германии, чрезвычайно велико, и для одних только калийных солей фактическое среднее для всей страны составляет около 1,5 ц на гектар посева.

Если взять это в качестве хотя бы отдаленной цели для нашей промышленности и сделать пересчет на посевную площадь СССР, то это

означало бы для СССР потребление калийных солей в размере 13,2 млн. т ежегодно.

Непосредственного интереса для настоящего момента эта цифра, конечно, не представляет, ибо она относится к совершенно другим экономическим условиям; она указывает только направление, в котором и мы также движемся, хотя и находимся еще на другом уровне развития.

Более реальный интерес для нас представляет другая цифра — это довоенное (до 1914 г.) потребление привозных калийных солей, достигавшее приблизительно 82 тыс. т в год. Эта цифра требует, конечно, известных поправок, но имеются поправки как в сторону понижения, так и в сторону повышения размеров потребления калийных солей в первые годы развития нашей калийной промышленности.

С одной стороны, в сумму 82 тыс. т входит потребление калия в бывших Остзейских провинциях (Прибалтика), в которых цена на хлеб была выше, а на калий ниже, чем внутри России, а потому было больше стимулов к применению удобрений; но, с другой стороны, цифра эта относится к привозному и потому более дорогому материалу (к стассфуртскому), а мы должны иметь в виду более дешевое для внутренней России снабжение из Соликамских копей. Достаточно сказать, что провоз от Стассфурта до Москвы и другие накладные расходы удорожали каинит в 4—5 раз — он стоил в Москве 45 коп. за 16 кг вместо 9 или 10 коп.; это заставляло прибегать к транспорту преимущественно концентрированных солей (30—40%), в которых калий обходится вдвое дороже, чем каинит.

В этом заключается источник третьей поправки к цифре 82 тыс. т — в нее входили вместе с каинитом и концентрированные соли (30—40%); следовательно, в пересчете на соликамский карналлит (13%-ный по содержанию окиси калия) это будет отвечать большей сумме. Разница между потреблением внутри России и в Прибалтике была довольно существенная, но нужно думать, что и различие в цене на калий во внутренней России тоже будет существенно. Нужно иметь в виду, что при сбыте удобрений обычно осуществляется такая правильность, что спрос на них растет не пропорционально их удешевлению, а гораздо быстрее, например пропорционально квадрату их удешевления [5*].

В итоге можно думать, что цифра 82 тыс. т все же будет той первой придержкой, которую должна иметь в виду вновь возникающая калийная промышленность.

Эту цифру нужно считать весьма скромной, так как по перспективному плану, составленному в расчете на привозные из Германии соли на 1927/28 г., предположено потребление калия в размере от 25 до

[5*] Само собой разумеется, что такая закономерность наблюдается лишь для известного уровня цен, уже допускающего применение данного удобрения под данную культуру, пока же цены меняются в пределах недосягаемости, влияние этих изменений цены на сбыт удобрения равняется нулю.

41 тыс. т в 30%-ной калийной соли, или, грубо говоря, двойное количество сырых солей, т. е. от 50 до 82 тыс. т в год. Если предположить, что дешевизна соликамских солей по сравнению со стассфуртскими даст только удвоение потребления калия, то это будет отвечать 100—160 тыс. т сырых солей в год; так как Соликамск только в 1928 г. начнет давать свои продукты, то даже в пределах прежних подсчетов можно ожидать достаточного рынка для начальной продукции Соликамска. Но при этих подсчетах, кроме предстоящего теперь значительного снижения цен на калий, не был принят во внимание тот кредит на покупку удобрений и те общие меры по их распространению, которые теперь решено проводить в жизнь, а потому возрастание сбыта удобрений должно пойти заведомо более быстрым темпом, чем можно было ожидать во время разработки перспективных планов Наркомзема (создание азотной промышленности будет действовать на сбыт калия также в положительном смысле).

Что касается перспектив, то при должном установлении цен на калий (и другие удобрения) развитие Соликамска может пойти очень быстрыми шагами.

Припомним главные этапы в развитии Стассфурта:

	Годы				
	1861	1870	1880	1900	1912
Ежегодная добыча (в тыс. т)	2	280	660	3000	11000

Если скажут, что Германия нам не указ, мы отметим, что Германия 1856 г. (год открытия Стассфурта) не была современной Германией, и разница в 70 лет (1856—1926) значит чрезвычайно много, тем более что эти 70 лет отделяют два весьма различных периода в развитии естествознания вообще, агрономической химии и физиологии растений в частности.

В середине XIX столетия не было еще ясных представлений о законах питания растений, и первоначально калийные соли называли отбросной солью, мешающей добыче поваренной соли. Если Либихом был провозглашен принцип минерального питания растений, то первые шаги в практическом применении минеральных удобрений, слишком поспешно сделанные, включали ряд ошибок (достаточно сказать, что Либих в свой первый рецепт минерального удобрения вовсе не включил азота).

В то время еще не существовало агрономических опытных станций, которые позднее установили законы питания растений, легшие в основу практики применения минеральных удобрений. Тогда еще не знали всех звеньев круговорота азота в природе (только в 80-е годы вопрос этот был разрешен), и только в XX столетии стало возможным активное вмешательство человека в этот процесс — народилась азотная промышленность [6*].

[6*] Если впоследствии в развитии Стассфурта играла роль его монополия во внешней торговле, то это не относится к первому периоду его развития.

Теперь же развитие калийной промышленности страхуется ее сопряженностью с промышленностью фосфатной и азотной; теперь наши знания об особенностях почвы и отдельных культур гораздо полнее, техника стоит на другом уровне.

Поэтому для Соликамска условия развития нужно считать более благоприятными, чем это было в первый период развития Стассфурта; что же касается дальнейшего, то хотя Соликамску не придется играть роль монополиста в снабжении мирового хозяйства калием, что позволяло Германии вести добычу в *двойном* размере против собственных потребностей, зато ему предстоит обслуживать страну, которая уже теперь имеет пахотную[7*] площадь, *вчетверо* превышающую площадь пашни в Германии, а впоследствии эта площадь в *восемь* и *более раз* будет превышать германскую.

Но само собой разумеется, что развитие калийной промышленности может идти только с развитием азотной и фосфатной промышленности, а общий ход развития химической промышленности, зависящей от потребления минеральных удобрений земледелием, будет расти только по мере «сжатия ножниц», т. е. постепенного приближения отношения между ценами на хлеб и на удобрения к западноевропейским нормам. Всякий шаг в этом направлении будет расширять сбыт минеральных удобрений.

[7*] Мы говорим именно о пахотной площади, для посевной же площади эти же отношения несколько иные, так как в Германии упразднены паровые поля, у нас же они сильно представлены. Но это не меняет по существу сказанного в тексте.

К ВОПРОСУ О ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ КИСЛОТНОСТИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ[15]

КРАТКИЙ ОБЗОР РАБОТ, ВЫПОЛНЕННЫХ В ЛАБОРАТОРИИ *

Литературные данные о физиологической реакции калийных солей до недавнего времени далеко не отличались той определенностью, какая достигнута в отношении источников азота.

Мы часто имели дело с взаимно противоречащими утверждениями. Так, с одной стороны, факт безусловной необходимости калия и отсутствие каких бы то ни было доказательств положительного действия хлора для растений были издавна (Мейер, 1881) поводом к зачислению хлористого калия в группу солей физиологически кислых, и это представление отчасти вошло даже в учебники. С другой же стороны, при экспериментальной проверке этого взгляда разные авторы получали весьма различные результаты; а так как они работали в разных условиях и с разными объектами, то результаты эти трудно сравнивать между собой.

Не входя здесь в систематический обзор литературы, приведем только следующие примеры. С одной стороны, Пантанелли**, работая с проростками тыквы, пришел к выводу, что хлор поглощается скорее, чем калий (и вообще будто бы анионы скорее, чем катионы); с другой стороны, Леманчик 3* (Познань, лаборатория Никлевского), работая с двумя сортами ячменя, при разных вариантах в отношении концентрации соли и продолжительности опыта, наблюдал довольно равномерное поглощение калия и хлора, т. е. хлористый калий вел себя в этих опытах как соль физиологически нейтральная. Опыты Леманчика проведены с большой тщательностью и не дают никаких поводов к сомнению в верности его наблюдений. Но вот третий экспериментатор, Каппен 4*, достаточно известный своими работами в области агрохимии, работая с кукурузой по методу, разработанному в нашей лаборатории (метод изолированного питания), пришел к выводу, что все-таки хлористый калий есть соль физиологически кислая. Но когда в той же лаборатории эти опыты были повторены в серии песчаных культур без изоляции, вывод вновь оказался отрицательным (Вихман) 5*. Тем более не удавалось до сих пор констатировать физиологическую кислотность калийных солей при постановке опытов в почвенных культурах. Мы имеем здесь в виду длительные опы-

---

* Печатается по тексту, опубликованному в «Трудах Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева», т. 5, вып. 1. М., Изд-во «Советская наука», 1940.

** Pantanelli é Sella.— Academia dei Lincei, v. 18.

3* **Lemanczyk.** Ueber die Absorption von Kalisalzen, 1927.

4* H. Kappen. Die Bondenazidität, 1929.

5* Wichmann. Ernährung d. Pflanze, 25, 1929.

ты Никласа, Штробеля, Шаррера [6*], наблюдения Цильсторфа и Неринге [7*] и сводку Каппена [8*].

Отмеченное расхождение результатов у разных авторов и неопределенность вывода о физиологической природе калийных солей побудили нас вновь поставить ряд опытов по данной теме в дополнение к прежним работам И. С. Шулова, Ф. В. Чирикова, Е. В. Бобко, А. А. Стольгане и других, тем более что вместе с разработкой соликамских калийных солей этот вопрос имеет непосредственное отношение и к практике применения калийных удобрений в нашем сельскохозяйственном производстве.

Основные положения, из которых мы исходили при проведении этих опытов, сводились к следующему:

1) при изучении физиологической кислотности калийных солей необходимо обратить внимание на влияние природы растения и не ограничиваться широким варьированием условий при опытах с одним растением (как делали большинство авторов), но также варьировать и выбор объекта при сравнимых условиях постановки отдельных опытов;

2) для более полной разработки вопроса существенно было бы показать (хотя бы для некоторых растений) проявление физиологической кислотности калийных солей не только в водных, но также и почвенных культурах.

С такой установкой опыты велись у нас в течение нескольких лет [9*], и, подводя теперь краткие итоги по данной теме, мы можем сказать, что индивидуальность растений оказывает несомненное влияние на ход поступления калия и хлора из раствора KCl. Первоначально мы взяли для сравнения овес и горох в качестве представителей двух важных в сельскохозяйственном отношении семейств — злаковых и бобовых.

Для овса результаты не очень отличались от тех, какие наблюдал Леманчик при своих опытах с ячменем: поглощение калия немного преобладало над поглощением хлора, или было равно ему; сдвиг реакции в сторону подкисления был невелик (если исходная реакция была близка к нейтральной), или его вовсе не было (если реакция при постановке опыта была кислой).

Другая картина наблюдалась при опытах с ростками гороха, а именно сдвиг реакции в сторону подкисления был значительным, например до 3,8—3,4 pH (вместо исходного pH 5,4), в то же время поступление калия значительно превышало поступление хлора.

Эти опыты были краткосрочными и проводились по методу фракционированных растворов; при повторении их по методу изолированного

[6*] H. Niklas, A. Strobel.— Landw. Versuch Stationen, 105, 1926.

[7*] Zielstorf, Nehring. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenk, A, 1930.

[8*] H. Kappen. Ernährung d. Pflanze. H. 6 u. 25, 1929.

[9*] В разные годы в их проведении принимали участие З. Ф. Андреева, В. В. Буткевич, А. В. Владимиров, Е. Т. Высочина, А. И. Графов, З. И. Журбицкий, И. М. Малаховский, А. И. Мочалов, Ф. П. Платонов, А. Т. Труш, Е. И. Шолохова, Г. Н. Фролов.

питания, позволяющего распространить опыт на целый вегетационный период, получилось подтверждение отмеченных выше различий между овсом и ячменем, с одной стороны, и горохом — с другой. Вот примеры из этой серии опытов.

	Поглощено в мг-экв			Поглощено в мг-экв	
	K	Cl		K	Cl
Овес	1,02	0,82	Горох	1) 1,31	0,14
Ячмень	2,04	1,74		2) 1,02	0,27
				3) 0,63	0,12
				4) 0,32	0,08

Цифры показывают, что различие в поглощении катиона и аниона у гороха гораздо больше, чем у ячменя [10*].

Раз мы обнаружили факт неодинакового отношения к хлористому калию различных растений, то дальше естественно было пойти в сторону расширения круга изучаемых культур, причем особенное внимание мы обратили на растения, потребляющие много калия (подсолнечник, свекла, картофель и некоторые другие, по преимуществу технические культуры).

Наиболее обстоятельная работа с сахарной свеклой [11*] была проделана В. В. Буткевичем и Е. И. Шолоховой, которые исследовали относительную скорость поступления калия и анионов в зависимости от концентрации солей, возраста свеклы и т. д. Ими установлено, что с увеличением энергии проникания аниона в растения поступление катиона калия также увеличивается и что наиболее сильно физиологическая кислотность проявляется на K_2SO_4, умеренно — на KCl и K_2HPO_4 и отсутствует для KNO_3.

Во всех случаях при работе с другими растениями мы наблюдали более или менее резкое (но разное для различных культур) подкисление реакции в растворах калийных солей и преобладание в поступлении калия над сопутствующим ему анионом. В сравнительных опытах с хлористым и сернокислым калием устойчиво наметилось, что SO_4 поступает медленнее хлора, и поэтому K_2SO_4 должна рассматриваться как соль более физиологически кислая, нежели KCl.

Приведем здесь результаты лишь одного опыта, относящегося к определению смещения реакции в растворах хлористого калия взрослыми растениями (подсолнечник, соя, кенаф).

В подготовительном периоде (до опыта) мы стремились создать для растений условия умеренного голодания как в отношении калия, так и в отношении хлора (но при нормальном питании всеми остальными элемен-

---

10* В случае же сернокислого калия эти различия достаточно велики также у овса и ячменя.

11* В. В. Буткевич, Е. И. Шолохова. В кн. «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», т. 15, 1930.

тами). Для этой цели в нормальной смеси Гельригеля была дана лишь $^{1}/_{4}$ калия в виде KH_2PO_4, а остальная часть фосфора (до нормы) вносилась в виде $Ca(H_2PO_4)_2$. Незначительное количество хлора было введено в смесь лишь с хлорным железом (10 мг/л). Емкость сосудов в опыте — 5 л.

Развитие всех растений было вполне нормальным. С каждым из них было проведено два опыта по изучению изменения реакции раствора хлористого калия: первый — после 50 и второй — после 63 дней от начала прорастания. В каждом опыте регистрация смещений pH была сделана 3 раза: после пребывания растений на растворе KCl в течение 10, 20 и 36 час. (в первом опыте) и после 5, 6 и 12 час. (во втором опыте).

Во время опыта концентрация раствора хлористого калия отвечала нормальной в полной смеси Гельригеля.

Начальное pH раствора хлористого калия путем добавления HCl или KOH устанавливалось в интервале pH 3—9.

Детали схемы и результаты этих опытов приводятся в табл. 1 (в таблице показаны смещения pH в щелочную (+) или кислую (—) сторону от установленного перед опытом значения).

Данные табл. 1 показывают, что для всех этих растений хлористый калий является отчетливо физиологически кислой солью, однако сходное pH соли сильно отражается на результатах наблюдения: в сильно кислом интервале реакции имеет место и некоторое подщелочение раствора KCl.

Таблица 1

Начальное pH	4,0			6,0			8,0		
Время взаимодействия (в часах)	10	20	36	10	20	36	10	20	36
1. Растения в возрасте 50 дней									
Соя	+1,8	+1,6	−0,6	−1,2	−2,6	−2,8	−4,1	−4,2	−4,8
Подсолнечник	+1,75	+1,3	+0,3	−0,8	−0,7	−1,6	−3,0	−2,8	−4,2
Кенаф	+0,8	+0,9	+1,0	−1,1	−1,2	−1,6	−3,1	−3,1	−3,6
Начальное pH	3,0			6,0			9,0		
Время взаимодействия (в часах)	5	6	12	5	6	12	5	6	12
2. Растения в возрасте 63 дней									
Соя	+0,4	+0,4	+0,3	−2,5	−2,5	−2,4	−3,0	−4,7	−5,5
Подсолнечник	+0,6	+0,6	+0,6	−1,2	−1,8	−1,8	−4,2	−3,0	−3,8
Кенаф	+0,3	+0,3	+0,3	−1,9	−1,7	−1,9	−3,1	−3,5	−4,4

Таким образом, опыты по изучению физиологической природы калийных солей для разных растений, которые изучались в нашей лаборатории, казалось бы, приводили к предположению, что между растениями различных семейств в этом отношении имеется существенное различие и, в частности, злаковые ведут себя вообще иначе, чем названные выше растения других семейств (горох, свекла, соя, кенаф, подсолнечник, картофель и др.).

Однако опыты, проведенные у нас с кукурузой (притом в различной постановке), показали, что возможность обобщения наблюдений над ячменем и овсом на все семейство злаковых не подтверждается: кукуруза обнаруживает явное преобладание поглощения калия над поглощением хлора.

Этот факт был установлен прямым путем (определение количеств поступившего K и Cl и изменение реакции среды). В другом же ряде опытов тот же факт был демонстрирован косвенным путем, а именно разложением фосфорита той кислотой, которую освобождало растение при усвоении калия, данного в виде KCl. Прямой учет поступления калия и хлора был проведен, в свою очередь, при двоякой постановке, а именно, с одной стороны, в краткосрочных опытах, когда растение получало только KCl, с другой стороны — в опытах длительных, при которых растения могут усвоить гораздо большее количество калия, при условии, что растение получает все необходимые элементы без помехи для наблюдений над изменением реакции в сосуде, содержащем хлористый калий.

В первом случае молодые (ассимилирующие) ростки кукурузы помещались на сетке, натянутой над стаканом, содержащим раствор KCl. Через некоторое время (3 часа и более) раствор сливался и подвергался анализу (определение K, Cl и pH раствора), взамен же вводился свежий раствор KCl. Результаты последовательных определений сопоставлены в табл. 2.

Таблица 2

Продолжительность погружения ростков в раствор KCl	Поглощение в мг		Поглощение в мг-экв		Отношение	pH после опыта
	K	Cl	K	Cl		
3 час. 25 мин.:						
а)	8,15	3,76	0,208	0,106	1,97	5,48
б)	7,75	2,28	0,185	0,091	2,02	5,40
13 час. 30 мин.:						
а)	16,35	12,76	0,417	0,359	1,14	5,1
б)	14,60	11,09	0,373	0,313	1,19	5,1
24 часа	18,6	19,0	0,475	0,540	0,88	5,1
93 »	19,6	19,6	0,500	0,550	0,91	4,5

Мы видим, что при первом погружении в раствор KCl ростки кукурузы берут вдвое больше ионов калия, чем ионов хлора; при последующих сменах раствора различие в скорости поступления сглаживается, но при данной постановке опыта этого и следует ожидать, так как растения не получают других питательных веществ и одностороннее питание калием скоро приводит к прекращению потребления калия растением. Поэтому на такой опыт можно смотреть как на разведочный; и если в нем обнаружена (хотя бы вначале) заметная разница в скорости поступления калия и хлора, то следует перейти к более длительному опыту, снабжая растение всеми необходимыми элементами, что и было сделано во второй серии опытов с кукурузой, проведенных по методу изолированного питания.

Во внутреннем сосуде давалась та или иная соль калия, во внешний же сосуд вводилась смесь Гельригеля с заменой KH_2PO_4 на NaH_2PO_4. Периодически (через 2 или 3 недели) раствор во внутреннем сосуде сменялся и подвергался анализу; всего было произведено 4 смены. Результаты опыта приводятся в табл. 3.

Здесь мы видим, что за время опыта поступление калия преобладает над поступлением хлора, а реакция раствора во внутреннем сосуде изменяется от pH 5,3 до pH 3,1 или 3,7. Правда, отношение между количеством калия и хлора, поглощенных растением, постепенно уменьшается (от 4,8 до 1,6), но все же и под конец сохраняется значительное различие. Уменьшение этого отношения, вероятно, стоит в связи с тем обстоятельством, что с последующей сменой раствора KCl острота потребности в калии уменьшилась, так как развитие растения не было роскошным (сухой вес растения не превышал 39 г) не только вследствие поздней постановки опыта, но и вследствие того, что корни в растворе KCl болели из-за отсутствия кальция в растворе и кислой реакции среды. Можно думать, что механическое поступление KCl с током воды преобладало во второй половине над действительным потреблением калия растением и выведением его из раствора, поэтому и наблюдалось смягчение названного отношения. Но во всяком случае физиологическая кислотность хлористого калия с ясностью проявилась во всех четырех фазах развития кукурузы (табл. 3).

Как видно из данных табл. 3, результаты для сернокислого калия в общем подобные предыдущим; различие заключается лишь в том, что SO_4 поступает медленнее, нежели Cl, чтó мы наблюдали и в ряде других опытов, проведенных в нашей лаборатории.

Помимо прямых определений, физиологическая кислотность хлористого калия в опытах с кукурузой была констатирована в нашей лаборатории еще иным путем, именно путем разложения фосфорита той соляной кислотой, которая освобождается от хлористого калия деятельностью корней кукурузы. При этих опытах применена была следующая постановка: в одном случае внешний сосуд наполнялся песком, в который вносился фосфорит, а во внутреннем сосуде в водном растворе давалась полная

Таблица 3

Опыты с KCl	pH после опыта	Поглощение (в мг-экв)		Отношение
		K	Cl	
1-я смена (14 дней):				
а)	3,7	0,834	0,172	4,84
б)	3,7	0,902	0,191	4,71
2-я смена (27 дней):				
а)	3,1	0,970	0,321	3,01
б)	3,1	1,171	0,378	3,08
3-я смена (19 дней):				
а)	3,2	1,05	0,710	1,51
б)	3,2	1,240	0,788	1,57
4-я смена (14 дней):				
а)	3,5	0,685	0,420	1,63
б)	3,5	0,685	0,404	1,69

Опыты с K_2SO_4	pH после опыта	Поглощение (в мг-экв)		Отношение
		K	$SO_4 \times {}^1/_2$	
1-я смена раствора (14 дней):				
а)	4,4	0,330	0,102	3,21
б)	4,4	0,338	0,128	2,64
2-я смена раствора (27 дней):				
а)	3,0	0,731	0,310	3,16
б)	3,2	0,620	0,244	2,54
3-я смена раствора (19 дней):				
а)	3,2	0,685	0,362	1,86
б)	3,4	0,607	0,333	1,82
4-я смена раствора (14 дней):				
а)	4,1	0,308	0,234	1,33
б)	4,1	0,485	0,278	1,75

смесь, за исключением фосфорной кислоты; в другом случае к фосфориту во внешнем сосуде прибавлялся хлористый калий, тогда во внутреннем сосуде не давалось ни калия, ни фосфора. Результат опыта приводится в табл. 4 (сухой вес растений в граммах).

Здесь ясно сказалось растворяющее влияние хлористого калия на фосфорит. Для того же чтобы различить влияние физиологической кислотности от прямого влияния соли на фосфорит, были одновременно постав-

Таблица 4

Урожай (в г)	Без фосфора	Фосфорит один	Фосфорит + KCl	Нормальная смесь
а)	1,8	13,3	47,4	49,2
б)	2,2	13,1	48,0	43,6
Среднее	2,0	13,2	47,7	46,4

лены контрольные опыты, в которых фосфорит и хлористый калий приводились в соприкосновение в другом сосуде (без растений), и затем раствор этот циркулировал к корням растений и обратно к фосфориту; в этой постановке урожай кукурузы достиг лишь 6,98 г. Таким образом, урожай в 47,7 г, достигнутый при прямом воздействии корней кукурузы на раствор KCl в присутствии фосфорита, говорит о растворении фосфорита под влиянием физиологической кислотности этой соли, а не под влиянием обменного разложения.

В параллельном опыте с хлористым натрием почти никакого растворяющего влияния на фосфорит не обнаружилось.

Еще более резкое растворяющее действие на фосфорит оказала изоляция его совместно с K_2SO_4 (табл. 5).

Таблица 5

	Без P_2O_5	Фосфорит один	Фосфорит + K_2SO_4	Нормальная культура
Урожай (в г)	5,2	30,4	102,9	111,1

В этом опыте, более длительном и доведенном до созревания растений, урожай кукурузы вообще выше, и сернокислый калий здесь по своему положительному действию на усвоение фосфорита растением значительно обгоняет KCl, так как урожай в сосудах с изоляцией фосфорита +KCl составляет 65,3 г.

Однако результаты получаются совсем иными, если мы будем препятствовать проявлению физиологической кислотности K_2SO_4. Так, например, в одном из опытов мы применили ежедневную нейтрализацию раствора в той половине сосуда изолированной культуры, где находились фосфорит +K_2SO_4 и pH раствора ежедневно доводился до 6,5. Результаты получились следующие (табл. 6).

Таблица 6

	Нормальная культура	Без P_2O_5	В изоляции один фосфорит	В изоляции фосфорит + K_2SO_4	
				без нейтрализации	при ежедневной нейтрализации до pH 6,5
Урожай (в г)	135,8	5,9	53,1	117,1	78,5

Некоторое увеличение урожая в сосудах с ежедневной нейтрализацией (против одного фосфорита в изоляции), вероятно, связано с тем, что нейтрализация раствора (в целях уверенности) начата лишь через месяц после посева, когда K_2SO_4 (до нейтрализации) уже проявил известное положительное действие.

В дополнение к этому отметим, что азотнокислый калий, с которым также был поставлен опыт, естественно, ни в какой мере не способствовал лучшему использованию фосфорита кукурузой. Наоборот, физиологически щелочная соль, KNO_3 несколько подавляла усвоение P_2O_5 из фосфорита. Это видно из данных табл. 7.

Таблица 7

	Нормальная культура	Без P_2O_5	Изолирован один фосфорит	В изоляции фосфорит + KNO_3
Урожай (в г)	111,1	5,2	30,4	16,3

Таким образом, наши опыты показали, что вопрос о физиологической кислотности хлористого калия не имеет того общего однообразного решения, как в случае хлористого аммония, но в зависимости от индивидуальности растений эта кислотность выражается в разной степени. Игнорирование природы объекта является одной из причин того расхождения результатов опытов с хлористым калием у разных авторов, которое обнаруживается в литературе.

Что же касается калия сернокислого, то для него обнаруживается более постоянная физиологическая кислотность, по крайней мере она установлена для всех растений, какие до сих пор испытывались как в наших опытах, так и в опытах других авторов (Хогланда, Леманчика).

В предыдущем изложении мы уже отмечали результаты опытов с кукурузой, проведенных в песчаных культурах (с промыванием), где было показано, что физиологическая кислотность KCl и K_2SO_4 является достаточной для хорошего разложения фосфорита. Урожаи кукурузы по фосфориту в этих опытах (особенно в случае K_2SO_4) не уступали уро-

жаям, полученным по нормальной смеси (источник фосфора — KH_2PO_4).

Но кроме кукурузы, в этой серии опытов были изучены и другие растения, именно овес, подсолнечник, соя. Техника проведения опытов во всех случаях была одной и той же (водно-песчаные изолированные культуры с перколяцией).

Результаты этих опытов (включая и два опыта с кукурузой) приводятся в табл. 8 (урожаи сухой массы растений в граммах на сосуд).

Таблица 8

Растение	Схема опыта				
	Нормальная смесь (в изоляции $KCl + KH_2PO_4$)	В изоляции фосфорит +			Без P_2O_5
		O	KCl	K_2SO_4	
Овес	48,5	12,2	17,0	17,0	2,8
Подсолнечник	106,0	81,7	110,4	106,3	2,0
Подсолнечник (2-й опыт)	55,9	35,9	52,4	51,7	2,4
Соя	82,2	69,4	78,1	77,0	9,0
Кукуруза	111,1	30,4	65,3	102,2	5,2
Кукуруза (2-й опыт)	135,8	53,1	114,4	117,1	5,8

Эти опыты преследовали в сущности ту же цель, что и изложенные ранее: мы пытались косвенным путем (по разложению фосфорита) установить степень физиологической кислотности калийных солей для отдельных растений. Однако интерпретация полученных данных несколько затрудняется тем, что соя и подсолнечник достаточно хорошо справлялись с фосфоритом и независимо от добавления калийных солей (между прочим, в условиях все же протекающих культур). Для сои такие результаты были получены и в самостоятельном контрольном опыте, который мы провели с сохранением обычной методики наблюдения (песчаные культуры без промывания). Данные для подсолнечника несколько неожиданны, но устойчивы и повторились в двух самостоятельных опытах. По-видимому, подсолнечник должен быть отнесен к группе растений, хорошо использующих P_2O_5 фосфорита.

Два злаковых растения, участвовавших в этих опытах, — овес и кукуруза — использовали фосфорную кислоту фосфорита значительно слабее и приблизительно в равной степени. Однако роль калийных солей оказалась здесь резко различной. Совместная изоляция фосфорита с KCl или K_2SO_4 сопровождалась очень большим увеличением урожая кукурузы (против сосудов с изоляцией одного фосфорита), тогда как прибавка на овсе в этих условиях составляет всего около 5 г, а урожай здесь еще слишком далек от нормального. Это еще раз указывает на то, что физиологическая характеристика калийных солей сильно зависит от при-

роды растения. При этом для кукурузы рассматриваемые калийные соли и особенно сернокислый калий оказываются значительно более физиологически кислыми, нежели для овса.

Влияние калийных солей в опытах с соей и подсолнечником не является столь же отчетливым вследствие хорошего использования P_2O_5 фосфорита этими растениями (в условиях опыта). Однако во всех случаях изоляции фосфорита с KCl и K_2SO_4 урожаи этих культур практически выравниваются с урожаями по нормальной смеси, где источником фосфора был KH_2PO_4. Это косвенно указывает на значительную физиологическую кислотность калийных солей для этих растений, что мы наблюдали раньше и в прямых опытах (по изменению pH и поглощению калия и сопутствующего аниона этими культурами).

Таким образом, данные рассмотренных опытов показывают, что физиологическая кислотность калийных солей не только может быть констатирована в песчаных культурах, но для некоторых растений она оказывается даже вполне достаточной для хорошего разложения труднодоступных фосфатов (в нашем случае фосфоритной муки). Оставалось сделать еще один шаг и отыскать условия, позволяющие воспроизвести эти явления и при постановке опыта в почвенных культурах. Пока в этом направлении были выполнены лишь две работы, причем о физиологической кислотности калийных солей в этом случае мы также судили по косвенному признаку — по энергии разложения фосфоритной муки. При постановке этих опытов (с KCl и K_2SO_4) мы исходили из следующих соображений.

Для того чтобы рассчитывать на получение отчетливых результатов, нужно было выбрать почву небольшой емкости поглощения и притом бедную основаниями, чтобы буферное действие почвы не затушевало физиологической кислотности калийной соли. Поэтому нужно было остановиться на почве, которая имеет некоторую обменную кислотность, но в размерах, недостаточных для хорошего разложения фосфорита, во всяком случае при том количестве почвы, которое будет взято для опыта. Естественно, почва должна быть бедна в отношении фосфорной кислоты. Навеску почвы нужно выбрать такой, чтобы растения и по фосфориту несколько голодали в отношении P_2O_5.

Наконец, для того чтобы изучить явление по возможности «в чистоте», устранить сопутствующие факторы иного порядка, опыт целесообразно поставить по методу изолированного питания, удаляя из общего состава смеси почву, фосфорит и нейтральную соль.

Было бы неправильным в данном случае составить схему, предусматривающую изучение влияния только калийных солей на разложение фосфорита, так как калийные удобрения (KCl и K_2SO_4) «активизируют» обменную кислотность почвы [12*], для выявления же их физиологической кислотности необходимо было включить в схему и соли, в основном фи-

[12*] Этот вопрос является самостоятельной темой, неоднократно прорабатывавшейся в нашей лаборатории: сейчас мы не входим в его рассмотрение.

зиологически нейтральные. В качестве последних мы выбрали NaCl и $CaCl_2$. В опыте взята почва Носовской опытной станции (чернозем, T=19,5 мг-экв) после искусственного доведения ее до степени насыщенности, равной 70%. Количество почвы на сосуд — 500 г. В наружные сосуды изолированной культуры вносилось 3 кг смеси почвы с песком. В эту же половину сосуда в соответствующих вариантах схемы вносилась фосфоритная мука и калийные соли. Внутренние сосуды наполнялись водой (емкость 1,2 л), и сюда вносились все остальные соли по нормам смеси Гельригеля с добавлением бора, марганца и при замене хлорного железа на лимоннокислое. Раствор во внутренних сосудах сменялся каждые 7 дней.

Количество фосфорной кислоты в фосфорите было дано двойным против норм смеси Гельригеля.

Опыт проведен с кукурузой, так как эта культура относится к группе растений, для которых калийные соли оказываются отчетливо физиологически кислыми.

Детали схемы этого опыта и его результаты помещены в табл. 9. Результаты опыта показывают следующее:

1. Добавление нейтральных солей к фосфориту способствует накоплению в почве усвояемой фосфорной кислоты. Однако это не относится к хлористому кальцию, который в условиях опыта подавлял использова-

Таблица 9

Влияние KCl и K_2SO_4, NaCl и $CaCl_2$ на усвоение фосфорита кукурузой в условиях почвенно-песчаной культуры при изолированном питании

Вариант	Схема опыта		Урожай воздушно-сухой массы кукурузы (в г на сосуд)	P_2O_5 в урожае (в %)	Вынос P_2O_5 (в мг на сосуд)
	внутренний сосуд изолированной культуры (водный, сменный). Смена через 7 дней	внешний сосуд изолированной культуры (почвенно-песчаный). Количество почвы 500 г. V = 70%			
1	Нормальная смесь Гельригеля	KH_2PO_4 и KCl	38,3	0,555	213
2	Нормальная смесь без P_2O_5	Почва	2,9	0,102	3
3	То же	Почва + фосфорит	(6,5)	0,143	9
4	Нормальная смесь без P_2O_5 и K_2O	Почва + фосфорит + KCl	16,2	0,213	34
5	Нормальная смесь без P_2O_5	Почва + фосфорит + NaCl	9,1	0,159	14
6	То же	Почва + фосфорит + $CaCl_2$	5,0	0,098	5
7	Нормальная смесь без P_2O_5 и K_2O	Почва + K_2SO_4 + фосфорит	20,4	0,450	92

ние P_2O_5 фосфорита кукурузой. Это следует как из урожайных данных, так и особенно из цифр выноса P_2O_5 урожаем (вариантов 3 и 6).

2. Наиболее активной из изученных солей оказался K_2SO_4, за ним следует KCl и, наконец, NaCl. Увеличение урожая и выноса P_2O_5 для каждой из этих солей (против сосудов с одним фосфоритом) выражается следующими данными.

	Увеличение урожая	Увеличение выноса P_2O_5
Для NaCl	+2,6	+5,2
» KCl	+9,7	+25,2
» K_2SO_4	+13,9	+82,7

3. Приведенные данные с несомненностью свидетельствуют, что, помимо активизации почвенной кислотности, использование фосфорита кукурузой в условиях опыта зависело и от физиологической реакции добавленных к фосфориту солей. Как мы видели, для кукурузы степень их физиологической кислотности располагается как раз в том же порядке [13*]: NaCl<KCl<K_2SO_4.

Этот вывод показывает, что физиологическую кислотность калийных солей можно обнаружить при известных условиях и в почвенной культуре. Во всяком случае, здесь это явление показано в присутствии достаточно мощного буфера в виде 500 г черноземной почвы при V=70%.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные опыты показали, что вопрос о физиологической кислотности калийных солей (особенно KCl) не имеет того общего однообразного решения, как в случае хлористого аммония, но в зависимости от индивидуальности растения эта кислотность выражается в разной степени. Игнорирование природы объекта является одной из причин того расхождения результатов опытов с хлористым калием у разных авторов, какое обнаруживается в литературе.

2. Физиологическую кислотность калийных солей для некоторых растений (кукуруза, соя, подсолнечник и др.) удается констатировать не только в водных культурах, но также в песчаных и почвенных (песок+ +почва).

3. Добавление калийных удобрений к фосфоритной муке на обменнокислых почвах способствует несколько лучшему разложению фосфорита как вследствие физиологической кислотности калийных солей (например, для кукурузы), так и вследствие активизации почвенной кислотности нейтральной солью. Пределы использования этого вывода в практических условиях сельского хозяйства выяснятся после проведения полевых опытов на различных видах почв подзолистой зоны.

[13*] Данных по NaCl мы не приводим в настоящей сводке опытов, но смещение pH в растворе NaCl было у кукурузы наименьшим.

ИЗВЕСТКОВАНИЕ ПОЧВ [16]

К ВОПРОСУ ОБ ИЗВЕСТКОВАНИИ
(по данным вегетационных опытов) *

При решении вопроса о значении известкования для различных почв при разных условиях хозяйства приходится, с одной стороны, идти эмпирическим путем, ставя полевые опыты в том именно районе, для которого выдвигается вопрос о хозяйственном значении известкования, применяя обычные приемы устранения погрешностей полевого опыта и выбирая вопросы, важные с точки зрения непосредственного поднятия урожаев; с другой же стороны, является необходимость анализировать причины положительного или отрицательного результата известкования, используя различные методы; здесь особенно удобен метод вегетационный, соединенный с химическим анализом, с исследованием влияния на биологические процессы в почве (бактерии и Protozoa). Конечно, полевой опыт также дает материалы для подобных исследований, даже и в самой постановке полевого опыта можно отдать дань выяснению причин действия извести (например, налагая восьмерную схему на фоне с известью и без извести), но все же лабораторные методы исследования и опыт вегетационный выступают на первый план, если идет дело не только об установлении факта того или иного действия извести в отдельных случаях, но и о достижении понимания причин этого действия, о выяснении роли отдельных факторов. Такое понимание позволило бы предвидеть, на каких почвах и в каких условиях можно ожидать наибольшего успеха от известкования, упростило бы задачу установления количества извести, потребной в разных случаях, и избавило бы нас от значительной доли громоздких полевых опытов, дав возможность отделить районы, где известкование в качестве хозяйственного приема не имеет шансов па распространение, от других, где оно может быть использовано в целях поднятия урожаев.

Для опыта вегетационного наиболее интересно было бы располагать почвами, заведомо дающими резкую реакцию на известкование, и затем

---

* Печатается по тексту, опубликованному в Юбилейном сборнике «Статьи и научные работы Д. Н. Прянишникова», т. 2, 1928, стр. 418—431. Впервые опубликовано в кн. «Известкование почвы в связи с внесением удобрений», 1919, стр. 94—109.

изучать, на какие именно стороны почвенного химизма и почвенной биологии действует известь и под влиянием каких факторов направление этого воздействия и размер его могут изменяться.

При использовании вегетационного метода нужно, конечно, не терять из виду, что некоторые стороны действия извести могут проявляться здесь с большей рельефностью, чем в поле, другие же, наоборот, могут быть затушеванными или не проявиться вовсе при обычной постановке; так, например, химические изменения могут сказаться часто резче, а улучшение физических свойств почвы может и не проявиться, ибо перед помещением в сосуды почва подвергается такому рыхлению, какого не даст никакая обработка в поле; затем в сосудах вода и воздух имеют доступ снизу, избыток увлажнения и недостаток аэрации легче избегаются. Поэтому можно ожидать, что иногда известь не проявит своего действия в сосудах, но проявит в поле; мыслимо, конечно, и обратное, но чаще можно ожидать первого случая, а потому отсутствие эффекта известкования в опыте вегетационном не решает еще окончательно вопроса о влиянии извести, особенно на физические свойства почвы.

После этих оговорок я перейду к краткому изложению того, что делалось в нашей лаборатории по вопросам известкования за 20 с лишком лет (1896—1918). Редкий год проходил без опыта по известкованию; однако это были почти исключительно студенческие работы, а потому мы не имеем здесь цельного труда, но имеем ряд отдельных (одногодичных) попыток выяснить ту или иную сторону действия извести, ряд, если угодно, предварительных опытов. Тем не менее данные эти представляют, на наш взгляд, нечто заслуживающее краткого обозрения, иногда по положительным своим результатам, иногда же потому, что в них имеются указания на препятствия, известные трудности в постановке вопроса, которые могут быть приняты во внимание при дальнейшей работе.

В 1897 г. ** на ряде почв испытывалось действие CaO в количестве 0,2% веса почвы при внесении недели за 3 до посева. Высевалась смесь вики и овса с целью наблюдать не только общее действие извести на урожай, но и учесть относительное развитие злакового и бобового, в предположении, что здесь получится известное указание на то, как именно подействовала известь на той или иной почве на условия азотистого и минерального питания растений (см. таблицу).

Как видим, известкование дало не только количественный эффект, но и в различном направлении повлияло на соотношение между викой и овсом в общей массе урожая: в шести случаях овес выиграл больше, чем вика, в трех имело место обратное соотношение.

** В первый год культур (1896) были лишь опыты с гипсованием клевера, но не было опытов с известкованием.

Приведем результаты в самой краткой форме.

		Почвы сильно оподзоленные					Глинистые почвы		Черноземные почвы	
		1	2	3	4	5	1	2	1	2
Урожай по извести в % от неудобренного контроля *		155	410	126	317	144	132	117	135	171
% вики	без извести	14,6	48,3	8,9	17,9	12,4	22,3	16,4	11,4	64,1
	с известью	8,0	16,5	17,9	9,4	29,6	12,8	20,8	6,4	38,1

* Везде приводятся лишь средние цифры для двух одноименных сосудов, при условии близости их показаний.

Перевес в развитии злакового может зависеть от того, что известь действует в данном случае сильнее всего на разложение органического вещества и на накопление растворимой азотистой пищи (усиление аммонизации и нитрификации), отчего выигрывают злаки и не выигрывают азотособиратели. Возможно также (при больших количествах извести) и другое, а именно, что клубеньковые бактерии подавляются щелочной реакцией первого периода, бобовое теряет свое преимущество перед злаковым в отношении азотистого питания и потому равновесие нарушается в пользу злакового. Если же в сложном комплексе действия извести на почву проявится больше другая сторона, а именно воздействие на минеральные составные части почвы, то на это отзовутся сильнее бобовые, требующие больших количеств калия и кальция (а также и больших количеств фосфора и серы); также и к устранению кислой реакции в почве отзывчивее будут бобовые. Не выясняя в точности этих вопросов для отдельных случаев, приведенные результаты свидетельствуют лишь о разнообразии условий, с которыми мы здесь встречаемся.

В развитие этих опытов в дальнейшем ставился вопрос о влиянии извести на азотистые вещества почвы и на некоторые минеральные составные ее части, но к этим опытам мы вернемся ниже.

В 1898 г. мы наблюдали на 19 почвах также значительное разнообразие результатов в смысле преобладания то злакового, то бобового в виковой смеси, но общий урожай был чем-то подавлен и количественное влияние извести было нерезким. Предполагалось, что излишняя влажность, пасмурное лето 1898 г. и сифонный способ поливки были здесь виной. Но малая рельефность результатов известкования повторилась в 1899 и 1900 гг. (на других почвах); тогда явилась мысль, не зависит ли слабое проявление известкования от того, что известь вносится не в тех дозах, какие требуются для данной почвы; отсюда явился переход к постановке опытов с возрастающими количествами извести на каждой испытуемой почве. Тогда обнаружилось, что для очень многих почв раньше вносившиеся количества извести оказались недостаточными, а в то же время

нередко удавалось уловить начало вредного действия при дальнейшем повышении доз.

Так, в 1901 г. мы имели случай непрерывного возрастания урожаев вместе с количеством внесенной извести на черноземной почве (из Елецкого уезда):

	Без CaO	1/4%	1/2%	1% CaO
Урожай пшеницы (в г)	8,0	9,0	13,8	19,6

В 1902 г. на почве с XII поля фермы обнаружилось, что 1% CaO является уже вредной дозой, подавляющей развитие овса, тогда как меньшие количества дали прогрессивный прирост урожая.

	Без CaO	1/4%	1/2%	1% CaO
Урожай овса (в г)	9,1	16,6	20,2	8,1

Тогда для нас было неожиданным, что елецкий чернозем реагировал положительно на такие количества извести, которые для заболоченного суглинка XII поля оказались уже вредными, но впоследствии опыты П. С. Коссовича также обнаружили случаи, что северные почвы, давая большой прирост урожая под влиянием известкования, в то же время при избытке извести дают резкое падение урожаев, тогда как черноземные почвы реагируют на известкование не так сильно и в то же время выносят большие количества извести без вреда для растений [3*].

В 1903—1906 гг. подобные опыты повторялись с разными почвами и разными растениями, причем «кривая действия извести» в пределах от $^1/_4$ до 1% веса почвы или была восходящей, или обнаруживала оптимум и затем нисходящую часть, соответствующую большим дозам; например, в 1904 г (урожай в г):

	0	1/4%	1/2%	3/4%	1% $CaCO_3$
Горох на подзолистой почве	7,4	24,9	23,9	12,4	8,8
Ячмень на заболоченном суглинке	11,9	21,8	12,8	10,9	10,0
Овес опыта а)	27,8	35,2	15,9	13,6	5,6
» » б)	16,9	25,9	34,4	–	0,5
Пшеница на черноземе	34,6	36,8	28,5	–	19,4

Отметим, что вред больших количеств извести (как и положительное действие меньших доз) сказывался здесь независимо от того, что употреблялась не жженая известь, а углекислая. Видимо, действие той и другой при хорошем размельчении и смешении сближается; в хозяйстве же углекислая известь обычно вносится недостаточно измельченной, и этим, вероятно, в свою очередь, нужно объяснить предпочтение, отдаваемое обжи-

[3*] П. С. Коссович. Опыты по известкованию почв (IV отчет Сельскохозяйственной лаборатории).

ганию (это предположение, конечно, нуждается в дальнейшей опытной проверке) [4*].

Известно, что некоторые растения считаются неблагоприятно относящимися к известкованию (или по крайней мере вред известкования на них наблюдается чаще, чем на других культурах); наиболее выражено это у люпина, но и относительно льна имеются указания на нежелательность помещения его вскоре после известкования [5*]. Нам казалось возможным, что и для этих растений нужно ожидать известного оптимума содержания извести в почве, но только оптимум должен лежать ниже, чем для других растений; в этом смысле, вероятно, надо понимать отнесение люпина и подобных ему растений к числу «враждующих с известью» (kalkfeindlich).

Первый поставленный у нас опыт с известкованием под люпин (1901) дал неожиданный (нетипичный) результат, именно на черноземной почве (из Елецкого уезда) возрастающие количества извести дали возрастание урожаев люпина.

	Без CaO	1/4%	1/2%	1% CaO
Урожай люпина (в г)	13,3	14,0	14,6	20,1

Это тот же ряд, какой ранее приведен для урожаев пшеницы на той же почве; тогда нами высказано было по этому поводу следующее: «Эти данные наводят на мысль, что, быть может, репутация люпина, как растения, враждующего с известкованием, сложилась в связи с тем, что люпин — растение преимущественно песчаных почв, а на песчаных почвах оптимальное количество вообще ниже, нежели на глинистых и перегнойных; возможно поэтому, что особенности данной черноземной почвы делают ее благоприятной к известкованию даже под люпин; но без дальнейших опытов трудно, конечно, утверждать по этому поводу что-либо определенное.

Означенный случай казался выходящим из ряда исключением. Однако вскоре в литературе появилось еще одно указание на полезное действие извести на люпин на песчаной почве в опытах Бахмана [6*].

В 1904 г. мы увеличили число опытов с люпином, взяв разные почвы и ведя параллельные опыты с другими растениями; нам удалось дейст-

---

[4*] «Предупреждение избытка извести заставляет бельгийца известковать свое поле, по крайней мере за семь лет до посева на нем льна» (Стебут, Коссович. Лекции о льне, 1878, стр. 79) (однако ниже говорится о случаях внесения 50 пудов $Ca(OH)_2$ при запахивании ржища под лен). «Известь хотя повышает урожаи льна, но понижает качество волокна, делая его хрупким».

[5*] «Лучше всего сеять лен не ранее 2—3 лет после известкования». «На чисто известковой почве лен вовсе не родится,— молодые всходы прямо перегорают на такой почве» (Ферле. Льноводство, 1914, стр. 31, 36).

[6*] «III Landw. Zeitung», 1903. После наших опытов появилась работа Хандурина на ту же тему («Журнал опытной агрономии», 1906); он также имел случай наблюдать положительное действие извести на люпин.

вительно натолкнуться на случаи, когда внесение небольших количеств извести было полезно (или безвредно) для люпина, но увеличение дозы, согласно общему правилу, было для него более гибельно, чем для злаковых (к сожалению, развитие желтого люпина нередко задерживалось холодной погодой, поэтому общий уровень урожаев часто понижен). Вот несколько примеров:

Урожай (в г) на	0	1/4%	1/2%	3/4%	1% $CaCO_3$
оподзоленных почвах	7,0	8,3	5,2	3,1	1,5
	2,7	4,3	0,7	0,9	0,3
	7,9	8,2	6,6	4,7	–
черноземе	4,8	6,2	5,4	–	3,0

В других же случаях наблюдалось типичное для люпина падение урожаев (в г) даже от малых доз извести:

		0	1/4%	1/2%	1% $CaCO_3$
На заболоченном суглинке	а)	10,0	3,2	3,0	0
	б)	7,4	5,3	2,5	–
На черноземе	а)	34,4	13,7	4,5	4,5
	б)	23,5	9,0	6,5	3,9

Мы делали несколько попыток подойти к выяснению причин чувствительности люпина к извести; первый вопрос, который здесь возникает, это следующий: вредит ли люпину кальций как таковой или вообще основания, которые парализуют столь ясно выраженную растворяющую способность корневой системы люпина?

В песчаных культурах 1901 г. делалась попытка выяснить, не довольствуется ли люпин вообще меньшими количествами кальция, чем другие культурные растения; сюда же относится одна тема 1906 г., где сравнивались кальций углекислый с сернокислым, кремнекислым, хлористым и т. д. по действию на люпин. Эта же тема была повторена в 1910 и 1911 гг.

Трудность разрешения этого рода вопросов заключается в следующем: если нужно в песчаных или водных культурах менять количество кальция, то как это сделать, не меняя других условий? Этот вопрос тесно связан с вопросом о нормальной смеси для люпина. Если исходить из обычных смесей (Гельригеля, Кнопа), то можно уменьшить количество Ca, заменяя постепенно Ca в $Ca(NO_3)_2$ натрием, как безразличным для растения (при малых дозах) элементом; однако такая замена означает не только убыль Ca, но и повышение щелочности среды (остатки Na_2CO_3 или $NaHCO_3$ вместо $CaCO_3$), к которой люпин чувствителен; поэтому в такой форме реакция люпина на понижение количества Ca не будет чистой. Если взять смесь «нейтральную», предложенную для известных целей автором настоящей статьи (главные составные части этой смеси

NH_4NO_3 и $CaHPO_4$), то в ней нельзя ввести для исключения кальция $NaHPO_4$, ибо среда будет щелочной вначале; нельзя также ввести NaH_2PO_4, так как среда станет слишком кислой вследствие тенденции NH_4NO_3 к физиологической кислотности; поэтому, может быть, правильнее было бы выбросить обычные источники азота, заменив их заражением клубеньками, а кальций вводить, например, в виде $CaSO_4$ (первое мы еще не вводили в опытах с известью, а второе отчасти испытано).

Сказанное объясняет, почему люпин совершенно без Са в песчаных культурах дает разные результаты, смотря по роду смеси (хуже при замене нитрата кальция $NaNO_3$, чем NH_4NO_3, ибо он не просто голодает, а еще отравляется щелочью).

Из наблюдений 1911 г. приведем здесь только следующее: при прибавке разных солей кальция к нормальной смеси Гельригеля пожелтение листьев вызывает прежде всего кальций углекислый, затем кремнекислый; гораздо слабее было действие $CaSO_4$. Желтый люпин проявил больше чувствительности к избытку извести, чем синий, что согласно с имеющимися в литературе указаниями на меньшую чувствительность синего люпина к известкованию.

Желательно продолжение работы с люпином в этом направлении, причем можно сравнивать не только разные соли Са, но и действие других оснований (например, гидрата окиси железа); если они также будут вредить, то это будет доводом против роли Са как такового.

Упомянем еще об одном опыте (1906), в котором сделана была попытка путем *анализа растений* уяснить, в чем заключается неблагоприятное действие извести на люпин. Урожаи люпина в г (на черноземе) при этом менялись так:

	Без $CaCO_3$	2,5 г	5 г	10 г	20 г $CaCO_3$ на сосуд
Без удобрения	8,1	—	9,0	8,7	7,1
$KCl+NaNO_3$	14,0	11,6	8,7	—	—

Для первого ряда процент P_2O_5 в растениях менялся так: 0,44; 0,39; 0,38; 0,34.

Здесь заметно постепенное понижение содержания P_2O_5 в урожае под влиянием известкования. Конечно, опыт весьма не полон, желательно подвергнуть анализу растения такого опыта, где влияние $CaCO_3$ сказывалось бы более резко на урожаях, но все же указание на ухудшение условий усвоения P_2O_5 люпином под влиянием извести здесь намечается [7*].

Что касается льна, то пока у нас не было отдельных опытов с известкованием почвы под лен, но некоторые опыты в песчаных культурах как

[7*] См. статью Ф. В. Чирикова в VIII отчете о вегетационных опытах. Из иностранной литературы отметим по этому вопросу работы: Pfeiffer. Mittheilungen d. Landwirtsch. Inst. Breslau, Bd. VI, 1913; Creydt. Journ. f. Landwirtschaft, Bd. 36, 1915. В последней работе указывается, что от извести страдают бактерии еще в почве (до проникновения в растение) и потому образование клубеньков задерживается.

бы подтверждают большую чувствительность льна к избытку $CaCO_3$ по сравнению со злаковыми и гречихой. Вот пример, относящийся к введению $CaCO_3$ в нормальные культуры по Гельригелю (урожай в г):

	Без $CaCO_3$	1/4%	1/2%	1% $CaCO_3$
Лен (1907)	20,1	4,1	4,6	3,3
Гречиха (1906)	22,1	21,1	19,6	22,6
Овес (1903)	44,1	42,8	43,0	40,4

В дальнейшем делались более определенные попытки так выбирать темы опытов по известкованию, чтобы учитывались отдельные стороны действия извести. Легче всего это было сделать по вопросу о переведении в растворимые формы азотистых составных частей почвы, при учете же действия на минеральную часть почвы встречается гораздо больше препятствий.

В первом направлении у нас ставились опыты еще в 1903 г. В. А. Галецким и Ф. Д. Рубиным с двумя почвами — черноземом (Курской губернии) и подзолом (с фермского выгона). Сосуды (кристаллизационные чашки) с 2 кг почвы, при определенной влажности (регулируемой по весу), помещались в лаборатории без высева растений. Почва с примесью CaO (0,2%) и без нее оставлялась на разные сроки с тем, чтобы периодически учитывать количества образовавшихся растворимых азотистых соединений (аммиака и нитратов) [8*]. В случае чернозема получились определенные положительные результаты, как видно из следующих цифр (азот нитратов мг на 1 кг почвы):

	До опыта	Через 3 недели	Через 6 недель	Через 9 недель
Без извести	58,8	69,3	90,3	96,8
С известью	58,8	85,7	120,8	118,3

Соответственные цифры для азота аммиачного:

Без извести	14,0	17,5	26,7	16,8
С известью	14,0	14,8	29,4	35,5

Ввиду того что аммиак является лишь переходной ступенью в процессе превращения азотистых веществ и его наличность отвечает разности скоростей двух процессов, а не скорости одного из них, удобнее взять сумму азота аммиачного и нитратного, чтобы по ней судить о влиянии извести; тогда имеем для такой суммы (в мг):

	До опыта	Через 3 недели	Через 6 недель	Через 9 недель
Без извести	72,8	86,8	117,0	113,6
С известью	72,8	100,5	150,2	153,8
Разность	–	+13,3	+33,2	+40,2

[8*] Кроме того, делались определения органического вещества и фосфорной кислоты, но расчленение отдельных групп не было проведено настолько, чтобы получить какие-либо определенные выводы.

Таким образом, известь на данном черноземе определенно способствовала накоплению растворимых азотистых соединений, доступных растениям, за счет азота органического. Для подзола же результат не был столь определенным; вначале наблюдалось некоторое подавление этих процессов, и лишь в конце опыта проявилось положительное действие извести; вот цифры для последнего периода (через 9 недель, в мг):

	Азот аммиака	Азот нитратов	Сумма
Без извести	28,6	32,9	61,5
С известью	71,4	76,1	147,5

То, что задержка процесса нитрификации в первое время возможна под влиянием щелочной реакции, вызываемой известью, было отмечено еще Буссенго; возможно, что эта причина влияла и в нашем случае; но только в опыте с черноземом такая задержка не проявилась.

Положительное влияние $CaCO_3$ на нитрификацию наблюдалось у нас позднее в одном случае с цианамидом [9*], где получились такие цифры для нитратного азота (в мг):

		Через 20 дней	Через 30 дней	Через 40 дней
Образовалось за счет цианамида нитратного азота на 1 кг почвы	Без извести	0	12,8	26,1
	С известью	14,0	20,7	44,8

Положительного влияния извести на образование аммиака в этом случае не было, вероятно потому, что образование аммиака за счет цианамида шло с большой быстротой, не соизмеримой с темпом превращения азотистых веществ почвы под влиянием процессов биологических.

По имевшимся в литературе указаниям можно было ставить вопрос, как влияет известь на переход фосфорнокислых соединений почвы в более растворимую и удобоусвояемую форму (здесь возможно влияние извести на отщепление фосфорной кислоты от органических соединений и влияние на фосфаты железа и глинозема).

Однако, в отличие от растворимых азотистых соединений, прямое определение в почве усвояемой (или растворимой в том или ином слабом растворителе) фосфорной кислоты натолкнулось на такие затруднения, которые до сих пор не преодолены. Именно при применении водных или слабокислотных вытяжек мы сталкиваемся или с невозможностью верного определения переходящей в раствор P_2O_5 (связанной с Ca, в отличие от связанной с железом) вследствие явления ретроградации (при уксусной и угольной кислотах), или же действие кислоты слишком сильно и опре-

[9*] Работа П. Д. Веревкина в кн. «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», т. VI, 1911.

делит грань далеко по ту сторону интересующего нас перехода от усвояемых растениями соединений P_2O_5 к неусвояемым при 2%-ной лимонной кислоте.

То, что уксуснокислая вытяжка не позволяет разделить в почве фосфат кальция от фосфата железа, видно из того, что в ряде случаев показания уксуснокислой вытяжки понижались тем сильнее, чем дольше почва оставалась в соприкосновении с 1%-ным раствором уксусной кислоты [10*].

Ввиду указанных аналитических трудностей приходится искать иные пути для обнаружения действия извести на минеральные вещества почвы; таковыми у нас были намечены:

а) опыты в песчаных культурах по влиянию извести на использование растением отдельных соединений, встречающихся в почве (например, на разные фосфаты Ca, Fe, Al);

б) опыты в лабораторной обстановке (без растения) относительно влияния извести на растворимость разных фосфатов;

в) опыты с известкованием почв, но с анализами растений, а не почвы;

г) такие же опыты с наложением восьмерной схемы на фоне с известью и без нее, при простом учете урожаев.

Что касается опытов с влиянием известкования на доступность фосфатов кальция, то можно было ожидать понижающего влияния, а не повышающего, что опыт в общем и подтверждает, но при этом констатируются большие различия в степени понижения, как это обнаружено многими нашими культурами 1903—1907 гг., а именно известкование мало меняет усвояемость однокальциевого и двухкальциевого фосфата, фосфата костей и фосфоритов; вот примеры:

		Без $CaCO_3$	1/4%	1/2%	1% $CaCO_3$
Гречиха	Однозамещенный фосфат	22,1	21,1	19,6	22,6
	Фосфорит	16,9	2,5	1,2	1,2
Горох	Однозамещенный фосфат	22,3	23,6	23,7	17,3
	Костная мука	18,9	14,7	14,0	9,3
Ячмень	Двухкальциевый фосфат	18,4	18,6	18,5	18,2
Овес	Трехкальциевый »	12,9	6,0	6,2	6,2 *

* Подробнее см. статью автора в V отчете «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ». Своеобразно, что для томасова шлака обнаружена нечувствительность к одновременному внесению $CaCO_3$.

Таким образом, если бы почва содержала только фосфаты кальция, то от известкования можно было ожидать лишь понижения поступления фосфорной кислоты в растения или в лучшем случае отсутствие всякого влияния. Но так как почва содержит еще соединения железа и глинозе-

[10*] См. статью автора «К вопросу об уксуснокислой вытяжке» в Журнале опытной агрономии, 1904.

ма (не говоря об органических соединениях фосфора), то общий результат может быть и иным. Указание на возможность перехода фосфорной кислоты из соединений железа в соли кальция, растворимые под влиянием углекислоты, сделано П. А. Костычевым. Во многих случаях известкование сильножелезистых почв в значительной степени повышает их плодородие, и, по всей вероятности, немалая доля такого влияния должна быть приписана превращению фосфорнокислого железа в фосфорнокислую известь; удобрение фосфорнокислой известью тоже сильно повышает их урожайность [11*].

В 1905 г. К. К. Гедройц также указал на вероятность такого действия извести. У нас такие опыты ставились в 1906—1908 гг. (а частью и позднее), но нужно сказать, что в обычных условиях песчаных культур (при смеси Гельригеля) нам не пришлось наблюдать положительного действия извести в этом направлении. Вот примеры из опытов 1907 г.:

Урожай (в г на сосуд)		Без $CaCO_3$	1/4%	1/2%	1% $CaCO_3$
Ячмень на $AlPO_4$ (свежеосажденный)		33,4	13,0	15,5	17,1
Овес на $FePO_4$		20,9	12,5	13,1	16,8
Гречиха на прокаленных фосфатах	$AlPO_4$	11,5	5,8	2,3	2,1
	$FePO_4$	2,7	2,5	2,3	2,2
1908 г. Ячмень (фосфаты непрокаленные)	$AlPO_4$	26,2	24,1	24,3	23,2
	$FePO_4$	19,7	18,9	17,1	18,4
% P_2O_5 в урожае по $AlPO_4$		–	0,17	0,17	0,14

Как видим, известь в этих опытах или подавляла развитие растений на фосфатах железа и глинозема, или не оказала влияния (однако в опыте с глиноземом 1908 г. сказалась на понижении процента P_2O_5 в урожае).

Кроме опытов вегетационных в 1907 г. еще испытывалось влияние $CaCO_3$ на разложение фосфатов железа и глинозема (непрокаленных) водой в лабораторной обстановке. При повторной (10-кратной) обработке препаратов водой и водой с углекислотой (сливание один раз в сутки) извлечены были следующие количества P_2O_5.

		Без $CaCO_3$		$CaCO_3$	
		вода	вода с углекислотой	вода	вода с углекислотой
Извлечено из $FePO_4$	% от навески	3,93	3,29	0,53	1,07
	% от P_2O_5	9,41	7,88	1,28	2,56
Из $AlPO_4$	% от навески	3,95	3,74	3,20	3,00
	% от P_2O_5	7,07	6,70	5,73	5,37

[11*] Костычев. Нерастворимые фосфорнокислые соединения почв, 1881, стр. 65.

Таким образом, и здесь сказалось подавляющее действие извести на переход P_2O_5 в раствор, то же повторялось при вегетационных опытах следующих лет. Тем не менее не приходится делать окончательного вывода, так как, с одной стороны, в литературе имеются данные и другого рода (например, в работах К. К. Гедройца); видимо, разные условия опыта (иногда недостаточно учтенные) и разные свойства препаратов влияют на конечный исход [12*]. И нам позднее пришлось натолкнуться на возможность того или иного решения означенного вопроса в зависимости от свойства питательной смеси. Так, в 1914 г. (в опытах Семушкина) наблюдалось весьма сильное понижающее действие $CaCO_3$ на доступность P_2O_5, если вместо $FePO_4$ вводился $Ca(NO_3)_2$, но результат был обратный, если источником азота служил NH_4NO_3:

	$FePO_4$ в песчаных культурах			
	$Ca(NO_3)_2$	$Ca(NO_3)_2+$ $+CaCO_3$	NH_4NO_3	NH_4NO_3+ $+CaCO_3$
Урожай ячменя (в г)	20,1	1,3	7,2	19,1

Точно так же при культурах по методу изолированного питания обнаружилось, что выделение в особый сосуд одного $FePO_4$ дает лучший результат, чем изолированные смеси $FePO_4+CaCO_3$.

Усвоение P_2O_5 падает с 45 до 18 мг на сосуд от внесения $CaCO_3$ в присутствии $Ca(NO_3)_2$ и, наоборот, оно поднимается с 41,3 до 63,7 мг, если $CaCO_3$ добавляется к фосфорнокислому железу в присутствии NH_4NO_3.

Положительное влияние $CaCO_3$ в присутствии NH_4NO_3 наблюдалось и в последующие годы, например в 1916 г.:

[12*] Например, урожай льна в опытах К. К. Гедройца изменялся так:

	Фосфорнокислый аммоний		
	свежеосажденный	просушенный	прокаленный
Без извести	12,2	29,4	17,9
С известью	29,4	20,8	21,7

(см. «Труды сельскохозяйственной химической лаборатории», вып. VI, 367).

	$FePO_4$ в песчаных культурах		
	$Ca(NO_3)_2$	NH_4NO_3	
		без $CaCO_3$	0,6 г $CaCO_3$
Ячмень	16,	1,3	13,8
Овес	20,	3,3	17,5

Конечно, нужно еще разобрать, насколько во всех этих случаях подавление урожая сводится к затрудненному усвоению P_2O_5 из $FePO_4$; отчасти оно может зависеть и от побочных изменений свойств среды, к которым разные растения проявляют разную чувствительность; во всяком случае, и при внесении извести в почву эти разнообразные влияния также могут оказывать свое действие на урожай.

Кроме того, в почвах часть фосфора находится в соединении с органическим веществом, и действие извести на эту часть должно быть изучено особо для разных почв; возможно, что здесь действие извести будет более резким.

В наших культурах имеется случай, подтверждающий возможность общего положительного действия известкования на усвояемость фосфорной кислоты почвы, именно:

	Пшеница на черноземе (Самарской губернии)			
	без $CaCO_3$	1/4%	1/2%	1% $CaCO_3$
Урожай (в г)	16,9	20,0	22,0	20,8
P_2O_5 в урожае (в %)	0,31	0,38	(не определялось) *	

* См. «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», т. VI, 1911, стр. 289.

Конечно, в этом случае нельзя расчленить действие извести на органическое вещество и на минеральные соединения фосфорной кислоты — здесь лишь суммарное указание на переход фосфора в более усвояемую форму; задачей дальнейшего изучения является накопление подобных фактов и выяснение причинной зависимости.

Выше мы отметили желательность применения восьмерной схемы (на фоне известкования и без него) в целях освещения вопроса, чем именно вызвано повышающее действие извести на урожай. Если известкование вызвало мобилизацию азота, фосфора или калия, то это проявится в меньшей отзывчивости почвы на соответственное удобрение.

У нас отмечалось одно время еще одно направление работ, это — установление главных форм соединений, в которые входит известь в раз-

ных почвах; например, интересно было бы определить, помимо общего количества извести, какая доля ее находится в виде углекислого кальция, какая — в состоянии поглощенном (по способности к реакциям обменного разложения, например, вытеснением раствором NH_4Cl), какая соединена с органическим веществом почвы. Возможно, что изучение русских почв в этом отношении представляло бы интерес не только с точки зрения накопления материала для характеристики почвенных типов, но также и для облегчения ориентировки в вопросе, когда именно известкование имеет шансы на успех. Если же интересоваться не только косвенным значением извести (для почвы), а и прямым (для растения), то можно ставить опыт с введением в песчаные культуры в качестве источника кальция, наряду с определенными веществами, также и разных видов почвы, в которых формы соединений извести учтены (метод «разжижения» см. А. Г. Дояренко [13*]; возможно, что этим путем удалось бы составить представление, какие из этих форм лучше используются теми или иными растениями (при параллельной постановке опытов с отдельными минералами).

Сюда относится студенческая работа С. С. Еленевского, который пробовал применить к трем образцам русских почв (чернозему, суглинку и подзолу) методы, использованные Дитрих-Мейером при изучении ряда почв в Германии [14*], при этом общее количество Са в почвах определялось после сплавления с углекислыми щелочами, углекислый Са — по вытеснению CO_2 серной кислотой, Са поглощенный — путем вытеснения солями аммония, Са, связанный с органическим веществом,— путем учета Са, освобождающегося после разрушения органического вещества прокаливанием. Однако не во всем способы, предложенные Дитрих-Мейером, оказались приложимыми; так, определение «органически-связанного» Са не удалось, ибо прокаливание дало не увеличение, а уменьшение растворимого кислотами кальция (притом тем большее, чем сильнее прокаливалась почва; очевидно, вследствие образования труднее разлагаемых безводных силикатов). Приведем здесь только количества поглощенного кальция в процентах от всего его количества:

Подзол	Суглинок	Чернозем
1,56	10,13	11,16

Подобные же попытки сделаны были еще в некоторых работах, оставшихся, однако, незаконченными [15*]. В одном случае, после определения в почвах (лёсс и чернозем) извести углекислой и поглощенной, почвы вводились в песчаные культуры в качестве источника Са, чтобы учесть усвояемость разных форм Са; не останавливаясь на результатах, мы отмечаем самый прием на случай использования его в дальнейших работах.

[13*] См. IV отчет о вегетационных опытах в Известиях МСХИ, стр. 23.

[14*] Landw. Jahrbucher, 1900.

[15*] См. «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», т. VI, 1911, стр. 329.

Отметим также случай, в котором определялось отношение к раствору NH_4Cl кальция десмина и лабрадора, с одной стороны, и нескольких почв, с другой; при этом для черноземов процент вытесненного Са оказался высоким (70—98%) и близким к соответственному проценту для десмина (80%), для подзола же количество такого (подвижного) кальция оказалось гораздо более низким (20%), лабрадор же стоит в конце ряда (1,9%).

Хотя предыдущее изложение больше имело в виду те пути, по которым мы считали возможным идти при изучении известкования, чем достигнутые результаты, однако некоторые намечающиеся выводы мы все же здесь приведем.

1. Весьма существенно для каждого рода почвы опытом определить норму извести, потребной для достижения наибольшего эффекта; малые дозы могут на некоторых почвах совершенно оставаться без действия, а при большей дозе оно проявится; точно так же верхний предел полезного действия извести на разных почвах и при разных растениях неодинаков, причем, по-видимому, подзолистые почвы требуют особого внимания в этом отношении.

2. Не замечается различия в полезном действии жженой и углекислой извести, если последняя тонко измельчена; точно так же и вред больших количеств не избегается внесением углекислого кальция.

3. При культуре смесей действие извести на соотношение между злаковыми и бобовыми на разных почвах не всегда одинаково по своему направлению — возможны случаи, когда вопреки ожиданию увеличивается процент злаков, а не бобовых.

4. Растения, боящиеся известкования, как, например, люпин, могут так называться лишь в том смысле, что предел полезного действия извести для них лежит ниже, чем для других растений; что касается причин вредного действия извести на люпин, то возможно, что здесь дело не в избытке кальция как такового, а в избытке оснований вообще и во влиянии их на реакцию почвы и на ход поступления питательных веществ.

5. Если влияние известкования на превращения азотистых веществ почвы является довольно хорошо выясненным, то нельзя то же сказать о действии извести на минеральную часть почвы; особенно превращения фосфатов и изменение их усвояемости заслуживают дальнейшего изучения. Вообще желательно расчленить вопрос о действии извести на отдельных типах почв, учитывая разные стороны этого действия, чтобы понимать, почему получается в разных случаях та или иная равнодействующая, и иметь возможность предсказать эффект известкования и для тех случаев, на которые прямой опыт еще не распространился.

О ВЛИЯНИИ РЕАКЦИИ ПОЧВЫ НА РОСТ РАСТЕНИЙ *

Как известно, для отдельных растений намечается известный оптимум концентрации ионов водорода в питательной смеси — одни развиваются лучше в слабокислой среде, как, например, картофель, другие — при нейтральной или слабощелочной реакции, как сахарная свекла. Даже растения, принадлежащие к одному и тому же семейству, могут значительно различаться в этом отношении; так, для кукурузы и овса оптимум лежит в более кислом интервале, чем для ячменя и пшеницы. При отступлении от оптимального пункта как в сторону щелочности, так и кислотности развитие растений ухудшается.

Однако в зависимости от состава питательного раствора могут наблюдаться различные отклонения от типичных случаев, причем не только положение оптимума может изменяться, но он может быть не выраженным с должной ясностью, иногда даже кривая зависимости урожаев от реакции среды становится двухвершинной. В такой сложной среде, как почва, форма кривой оказывается непостоянной, и в зависимости от других свойств среды, при той величине pH, развитие растений может быть или сильно подавлено, или же мало отличаться от нормального. Кроме разного влияния в отступлении от оптимума, намечается известная условность решения вопроса о положении самой оптимальной точки.

Так, если мы возьмем несколько почв с разным количеством поглощенных оснований и разной буферной способностью и искусственно создадим в них ступени pH, например от 4,5 до 8, то результат будет неодинаков.

Например, в опытах, проведенных у нас А. В. Петербургским в 1928 г., обнаружилось, что на песчаной почве горчица погибла при pH 4,5, на суглинке же растения оставались живыми, а на черноземной почве при той же реакции развитие их было неплохим. Точно так же в слабощелочном интервале (pH 7,8) на песчаной почве растения были более подавлены, чем на других почвах.

При повторении таких опытов в 1929 г. ** с горохом на различных почвах эта разница сказалась также довольно резко; в период цветения растения своим ростом воспроизводили на песчаной почве резко выраженную кривую, с наивысшей точкой около 6,5 и крутым падением особенно

---

* Печатается по тексту, впервые опубликованному в журнале «Удобрение и урожай», № 1, 1931, стр. 53—61.

** Опыты эти, начатые в нашей лаборатории, были продолжены А. В. Петербургским в лаборатории Центрального института сахарной промышленности.

в сторону кислого интервала; на оподзоленном суглинке и черноземе зависимость развития растений от реакции почвы во время цветения растений проявилась слабо, и вместо кривой высота растения в этой фазе по разным pH располагалась скорее по прямой линии, слегка восходящей от градаций 4,5 pH до 7,8 (рис. 1). На урожайных данных также с достаточной ясностью отразилось иное отношение растений к изменению реакции среды на черноземной почве, чем на почвах с меньшей буферностью.

В следующей таблице приведены урожаи гороха, высеянного в те же сосуды, в которых в предыдущем году развивалась горчица.

Из этих данных видно, что на черноземной почве снижение pH до 4,5 повлекло лишь небольшое снижение общего урожая; он достигал 81% наивысшего, причем оптимум лежал в слабощелочном интервале. На супеси же в кислом интервале общий урожай опускался до 10,5% максимального, а зерно при этом вовсе не образовалось; оптимум здесь приходился на pH 6,5; при слабощелочной реакции общий урожай составлял 77,6%, а урожай зерна только 23% оптимального. Таким образом, на почвах с значительной емкостью поглощения и большой буферностью, как чернозем, растения лучше переносят влияние кислой реакции, чем на почвах с малой буферностью, с малым содержанием поглощенных оснований. Подобные же соотношения проявились во II ряде опытов с горохом, заново поставленном в 1930 г., в котором сравнивалось развитие растений на черноземе и двух подзолистых почвах с разной степенью разрушения поглощающего комплекса; емкость поглощения этих трех почв, выраженная в процентах Са, была такова: 1—0,806; 2 — 0,115; 3 — 0,046.

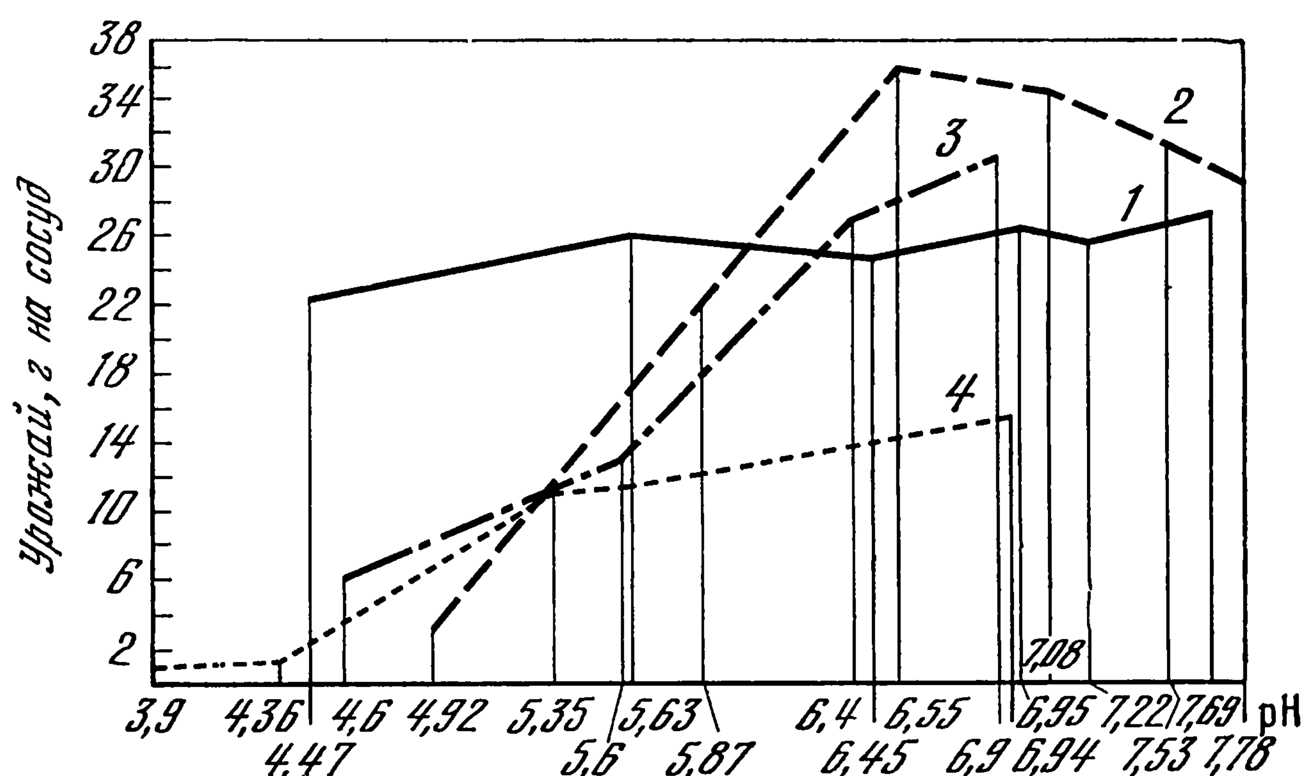


Рис. 1. Влияние градаций pH на развитие растений

Почвы; *1* — чернозем (Купянск); *2* — супесь (Люберцы); *3* — подзол (Лесная дача ТСХА); *4* — подзол (Коптевское болото, горизонт В)

Почва	pH		Урожай (в г)		Урожай (в % от максимального)		Ca (в г) на 1 кг воздушно-сухой почвы (в водных вытяжках 1:3)
	в начале опыта	в конце опыта	общая масса	зерно	общая масса	зерно	
Чернозем (Купянск)	4,48	4,46	23,0	5,52	80,9	51,89	1,70
	5,66	5,60	26,6	8,05	93,6	80,33	1,32
	6,66	6,35	25,4	7,80	89,4	77,84	0,46
	6,94	6,97	27,5	9,43	97,0	94,11	0,35
	7,31	7,14	26,3	9,35	92,8	93,31	0,26
	7,88	7,51	28,4	10,02	100	100	0,24
Суглинок (Деребчино)	4,50	4,35	24,1	6,61	74,8	64,80	0,85
	5,65	5,37	26,4	8,40	81,9	82,35	0,30
	6,19	6,37	29,2	9,10	90,7	89,21	0,07
	6,96	7,07	30,0	10,20	93,1	100	0,08
	7,65	7,35	32,2	9,98	100	97,84	0,12
	7,55	7,43	30,4	9,82	94,2	96,27	0,28
Песчаная (Люберцы)	4,76	5,08	3,3	—	10,5	—	0,70
	5,73	6,01	22,8	6,2	64,6	51,36	0,40
	6,58	6,52	36,2	12,07	100	100	0,21
	7,04	7,12	35,3	11,55	97,4	95,69	0,10
	7,66	7,40	32,5	11,07	89,7	91,71	0,07
	7,99	7,57	28,1	2,45	77,6	22,98	0,11

Почва	pH		Урожай (в г)		Урожай (в %)		Ca (в г) в водной вытяжке (1:3)
	в начале опыта	в конце опыта	общая масса	зерно	общая масса	зерно	
Чернозем (Купянск)	4,0	4,3	21,8	7,77	60,6	53,7	1,56
	5,2	5,2	26,6	10,0	73,8	69,2	1,31
	6,4	6,3	27,5	10,57	76,4	73,1	0,61
	7,5	7,3	36,0	14,45	100	100	0,22
Подзолистая (Лесная дача ТСХА)	4,4	4,7	6,3	0,75	20,0	7,5	0,38
	5,2	5,6	13,1	1,93	41,2	19,3	0,09
	6,1	6,6	28,0	9,75	88,1	97,5	0,05
	6,8	6,9	31,7	10,0	100	100	0,09
Подзолистая (Коптево)	3,8	3,9	0,8	—	5,0	—	0,17
	4,2	4,5	1,5	—	9,3	—	0,11
	5,4	5,2	11,8	3,05	74,1	72,2	0,07
	7,1	6,7	16,0	4,22	100	100	0,12

Как и в предыдущем случае, реакция почвы изменялась постепенным введением различных количеств H_2SO_4, с одной стороны, и CaO — с другой, до тех пор, пока установятся желательные градации pH.

Мы опять видим, что переход от нейтральной реакции к интервалу pH 4 — 4,5 вызывает гораздо большее снижение урожаев на почвах оподзоленных, чем на черноземе; так, на третьей почве общий урожай падает на 90%, а зерно вовсе не образуется, тогда как на черноземе при той же реакции общий урожай составляет еще около 61% урожая при реакции, близкой к нейтральной, а урожай зерна около 54%.

В чем же лежат причины указанных явлений? Они, конечно, могут быть весьма сложного характера, и весь вопрос требует дальнейшего изучения, но некоторые стороны все же могут быть отмечены уже теперь.

Так, для установления той же градации pH мы должны ввести в разные почвы весьма различные количества кислоты; кислота эта соединяется с подвижными основаниями в почве, прежде всего с кальцием, и при равной концентрации ионов водорода мы получаем разные концентрации ионов кальция, а это для растения далеко не безразлично; именно наличность кальция оказывает как бы защитное действие по отношению к ионам водорода. Если к дистиллированной воде прибавлять возрастающее количество кислоты, доходя до концентраций заведомо губительных для растений, то вредное действие кислоты может в сильной степени быть смягчено введением любой соли кальция, как $CaCl_2$ или $CaSO_4$; вот пример из опытов М. К. Домонтовича [3*].

	pH раствора				
	5,3	4,3	4,0	3,8	3,6
Прирост корней гороха (в мм) без Ca	55	47	5	5	0
То же, в присутствии соли кальция	60	66	55	26	0

Таким образом, можно говорить как бы об антагонизме между ионами водорода и кальция в том же смысле, как для других катионов это установлено со времен работ Лёва, Леба, Остергаута и других авторов.

В упомянутой работе А. В. Петербургского имеются определения воднорастворимого кальция в различных почвах, при разных значениях pH, причем оказалось, что черноземная почва, обнаружившая наименьшее влияние подкисления на развитие растений, содержала при низких pH наибольшее количество растворимого кальция. Если этот фактор и не является единственным, обезвреживающим влияние избыточной концентрации ионов водорода, то все же ему должна принадлежать заметная роль в этом обезвреживании.

[3*] См. XII том отчетов нашей лаборатории («Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», 1923), также см. Prjanischnikow. Über die Bedeutung des Calciums für die Pflanzen.— Berichte d. Deutschen Bot. Ges., Bd. 41, 138, 1923.

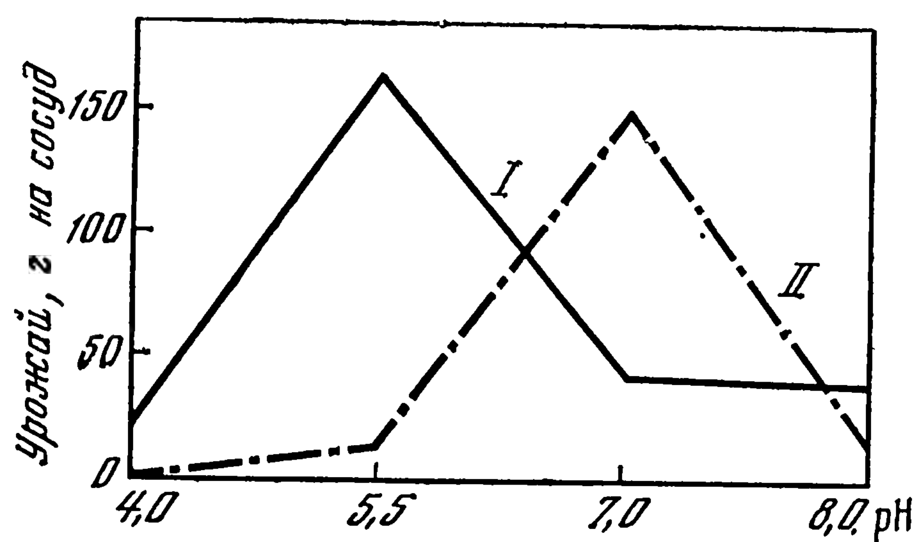


Рис. 2. Влияние источников азота на положение оптимума pH

I — $NaNO_3$; II — $(NH_4)_2SO_4$

Конечно, в опытах, подобных вышеописанному, мы имеем дело с искусственными условиями, в природе кислые почвы будут в то же время бедны растворимыми солями; однако, помимо теоретического интереса, такой случай может иметь значение для практики. Можно предполагать, что внесение гипса на оподзоленных почвах оказывает благоприятное влияние на клевер (помимо обычных объяснений) еще и тем, что внесение растворимой соли кальция помогает растению лучше переносить кислотность этих почв.

Итак, различное содержание других ионов (прежде всего кальция) при той же самой концентрации ионов водорода может влиять на форму кривой, выражающей зависимость роста от pH раствора; есть данные, указывающие на возможность смещения оптимума pH в зависимости от этого обстоятельства.

Другой случай влияния состава питательного раствора на положение оптимальной точки pH у нас наблюдался в опытах по сравнению источников азота (аммиака и нитратов), правда, в условиях особенных, именно при выращивании растений в текучих растворах[4*] (рис. 2). В течение нескольких лет одинаково наблюдалось, что если установить градации pH 4—5, 5—7—8, то при аммиачном питании наибольший урожай сахарной свеклы получался при 7, при нитратном же при pH — 5,5; например:

	pH 4,0	pH 5,5	pH 7,0	pH 8,0
Средний вес корня (в г) при внесении				
азота селитры	29	220	55	27
азота аммиачного	0	33	185	11

Затем такие опыты повторены были с кукурузой, и для нее также было констатировано перемещение оптимума pH с 5,5 до 7 под влиянием замены нитратного питания аммиачным в условиях текучих растворов, например:

[4*] См. работы И. Г. Дикусара в XIV томе отчетов нашей лаборатории (1928), в «Научно-агрономическом журнале» (1929) и в «Landw. Jahrbücher» (1930).

	pH		
	4,0	5,5	7,0
Урожай сухого вещества (в г)			
по $NaNO_3$	60,6	92,2	53,9
по NH_3NO_4	9,9	56,7	40,2
по $(NH_4)_2SO_4$	—	19,9	60,1

Если положение оптимума для pH меняется в зависимости от источника азота, то, в свою очередь, и оценка источников азота меняется в зависимости от pH — в одних условиях нитратное питание стоит выше аммиачного, в других — наоборот.

При анализе растений, получивших азот в виде аммиака, для кислых интервалов констатирована была бедность их кальцием (например, 0,18% вместо 0,32% CaO); получалось впечатление, что избыток NH_4 и $H^{\cdot}$ в растворе мешает поступлению кальция в растение. Тогда проведены были опыты с введением повышенных количеств Ca (в виде $CaSO_4$) в питательный раствор; так удалось значительно усилить развитие растений (свекла) в кислом интервале (pH 5,5) при аммиачном питании; например:

CaO (в мг/л)	40	160
Вес растений (в г)	100	248

Наоборот, при нитратном питании в известных условиях повышение содержания кальция в растворе может понижать энергию роста свеклы.

Таким образом, мы имеем дело со сложным взаимодействием между концентрацией ионов водорода, аммония и кальция, и ожидать простой зависимости растений от pH питательной смеси нельзя. Повышение содержания магния и калия в растворе влияет в том же направлении, как и повышение количества кальция, но количественно это влияние слабее.

Помимо того, что, изменяя pH почвы введением кислоты, мы неизбежно изменяем в почвенном растворе содержание ряда катионов, нужно отметить, что и для содержания анионов неизбежны известные изменения (помимо накопления аниона той кислоты, которую мы вводим в почву для понижения pH).

Так, можно ожидать, что кислая реакция почвы способствует переходу в усвояемое состояние фосфорной кислоты труднорастворимых соединений, а так как процесс растворения (и осаждения) фосфатов в разных почвах будет идти различно, то это обстоятельство может также оказывать отклоняющее влияние на зависимость развития растений от pH.

Имеются данные, что на одних почвах при слабом подкислении не происходит возрастания растворимости фосфорной кислоты, для других это наблюдается с ясностью, а для третьих обнаруживается даже пониже-

ние содержания P_2O_5 в растворе и в этих случаях нужен переход к более кислой реакции, чтобы вызвать разложение почвенных фосфатов и обогащение раствора фосфорной кислотой. Можно думать, что эти явления находят свое объяснение в связи с тем, какие основания (известь или полуторные окислы) связывают главную часть фосфорной кислоты в данной почве.

Так, в опытах Бобко и Масловой в одних почвах переход от pH 6 к pH 5 давал значительное повышение растворимости P_2O_5, в других случаях даже подкисление до pH 4 не давало заметных изменений в количестве растворимой P_2O_5 и только при pH 3 начиналось резкое обогащение раствора фосфорной кислотой [5*]. Поэтому когда мы искусственно приводим реакцию различных почв к одному уровню введением кислоты, то мы различно влияем на снабжение растений фосфорной кислотой, и это может являться одной из причин разного положения оптимума, и даже случаи получения двухвершинной кривой, может быть, найдут свое объяснение в побочных влияниях этого рода.

Точно так же и при повышении pH условия усвоения фосфорной кислоты в разных почвах могут изменяться неодинаково. Так, мы наблюдали в вегетационных опытах начиная с 1908 г., что на почве известкованной количество фосфорной кислоты, усвоенной растениями, выше, чем при отсутствии извести. В последнее время это явление было прослежено в работе Аскинази и Ярусова [6*], в которой обнаружилось, что известь на почвах оподзоленной полосы оказывает более длительное действие на усвояемость фосфорной кислоты, чем на превращение азотистых веществ в почве; для почвы Московской областной опытной станции даже через 10 лет после внесения извести (правда, в значительной дозе) можно было наблюдать повышенную усвояемость фосфорной кислоты; это было констатировано как анализом растений, выросших в поле, так и по методу Нейбауэра, а также анализом самой почвы. Видимо, в первые годы после внесения извести наблюдается значительная мобилизация азота и фосфорной кислоты; последнее явление может зависеть от перехода соединений P_2O_5 с железом и глиноземом в соединении с кальцием, а также и от разложения органических соединений, содержащих фосфорную кислоту. Во всяком случае, известкование подзолистых почв может повышать количество фосфорной кислоты, растворимой в воде, как видно из следующих данных Аскинази и Ярусова (см. таблицу).

[5*] См. Труды Института по удобрениям, вып. 39, 1926. Подобные же факты см. в работе А. В. Соколова «К вопросу о действии кислот на растворимость фосфорной кислоты почвы» (Труды Полесской станции, 1928).

[6*] Работа Института по удобрениям, проведенная в лаборатории автора. Кроме того, имеется и ряд других работ по этому вопросу (Кедров-Зихман, Егоров, Унгерер и др.), см. литературный обзор Аскинази и Ярусова (Труды НИУ, вып. 57, 1928).

		Воднорастворимая P_2O_5	Азот нитратов (в мг/кг)	Растворимый гумус (в % от исходного)
	через			
Без CaO, pH 5,5	2 недели	0	26	100
	1 месяц	0	35	—
	8 месяцев	0	35	—
CaO (по гидролитической кислотности) pH от 7 до 7,2	2 недели	1,9	32	336
	1 месяц	1,4	49	186
	8 месяцев	0,5	57	135
CaO (двойная доза), pH от 7,5 до 8	2 недели	4,7	36	416
	1 месяц	3,5	75	507
	8 месяцев	1,5	100	187

В первые годы после известкования растения располагают повышенными количествами как азота, так и фосфорной кислоты, как это видно из следующих данных вегетационного опыта:

	Годы	Без CaO	При внесении CaO (в % гидролитической кислотности)		
			100	200	400
Урожай	1-й	100	151	221	454
	2-й	100	148	197	175
P_2O_5 в урожае	1-й	100	214	304	272
	2-й	100	160	224	193
Азота в урожае	1-й	100	186	289	422
	2-й	100	120	162	159

В последующие годы замечается ослабление действия извести на усвояемость азота почвы, но усвояемость фосфора продолжает еще долгое время оставаться повышенной. Так, в вегетационном опыте почва с поля, получившего известь 9 лет тому назад, проявила гораздо большую отзывчивость на внесение азота, чем на внесение фосфора. При внесении только азота и калия урожай на известкованной почве был на 70% выше, чем на неизвесткованной, а абсолютное содержание фосфорной кислоты в растениях на известкованной почве было вдвое больше; между тем количество азота в урожае при внесении фосфора и калия было на известкованной почти то же самое, как и на неизвесткованной.

В полевом опыте была возможность сопоставить влияние прежде внесенной извести на общее количество азота и фосфора в урожае на 4-й и 10-й годы после известкования; при этом получены такие относительные числа.

	N в урожае	P_2O_5 в урожае		N в урожае	P_2O_5 в урожае
4-й год:			10-й год:		
без извести	100	100	без извести	100	100
с известью	142	148	с известью	125	231

Далее было прослежено, как меняется растворимость фосфорной кислоты почвы в воде при последовательном снижении pH (с помощью введения возрастающих доз соляной кислоты) в случае почвы неизвесткованной и известкованной; при этом получились такие данные.

pH	P_2O_5 (в мг на 100 г почвы)		pH	P_2O_5 (в мг на 100 г почвы)	
	неизвестко-ванной	известкован-ной 10 лет назад		неизвестко-ванной	известкован-ной 10 лет назад
6,20	0	0,16	4,8	0,12	0,32
6,05	0,09	—	3,5	0,12	0,36
5,35	0,12	0,18	3,0	0,17	0,44

Итак, известкование может способствовать переходу фосфорной кислоты в более усвояемое состояние, и это побочное обстоятельство может влиять на зависимость урожаев от pH почвы.

Из всего сказанного следует, что, изменяя pH почвы в целях нахождения оптимальной точки, мы на деле вызываем в почве ряд других изменений, которые могут оказывать свое влияние на результаты опыта. Так, мы видели, что достаточная концентрация ионов кальция в растворе может позволить растению переносить такие концентрации ионов водорода, которые при отсутствии кальция заведомо гибельны; далее, в связи с тем, питается ли растение аммиачным или нитратным азотом, оптимальная реакция может оказаться различной; условия питания фосфорной кислотой в разных почвах с изменением pH изменяются по-разному; очевидно, возможны и другие побочные изменения, связанные с изменением реакции почвы; словом, мы имеем дело со сложной игрой факторов, а потому является совершенно естественным, что зависимость роста растений от pH для разных почв выражается кривыми неодинакового вида.

МЕСТНЫЕ УДОБРЕНИЯ[17]

СРАВНЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ НАВОЗА И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ *

Вопрос об удобрительном действии навоза является очень сложным. Прежде всего навоз — самый дешевый и обильный источник азота, фосфора и калия, причем, однако, усвояемость этих веществ (особенно азота) является непостоянной, но очень зависит от качества навоза. Далее, до сих пор недооценивалось, что навоз гораздо богаче (по расчету на сухое вещество) зольными веществами, повторное внесение навоза заменяет известкование. Кроме того, органическое вещество навоза, содержащее как карбоксильные, так и аминные группы, в высокой мере способно повышать буферность почвы и емкость поглощения, а суммарное влияние органического вещества и кальция навоза действует благоприятно на структуру почвы; влагоемкость почвы при регулярном применении навоза также повышается. Органическое вещество навоза является важным фактором для нормального течения желательных биологических процессов в почве; отметим значение органического вещества навоза для размножения клубеньковых бактерий в почве, оно же доставляет энергетический материал для деятельности азотобактера, но оно же при неправильном соотношении между азотом и углеродом может оказывать и отрицательное действие, например мешать накоплению нитратов в почве. Таким образом, наряду с главным, прямым действием навоза как источника азота, фосфора, калия (и кальция, магния, серы) имеется ряд косвенных воздействий на жизнь культурного растения через почвы.

В настоящей статье, написанной (с некоторыми дополнениями) вторично **, мы останавливаем внимание читателя преимущественно на одной стороне действия навоза, а именно на вопросе об использовании растениями питательных веществ навоза не за один севооборот, а с учетом конечного их использования за большой промежуток времени, когда суммируется действие навоза с последействием от всех предыдущих внесений, сколько-нибудь поддающихся еще учету; такое конечное использование,

---

* Печатается по тексту первого опубликования в трудах «Научного института по удобрениям», вып. 73, 1930, стр. 61—88, с дополнениями автора, сделанными в 1936 г.

** См. журнал «Удобрения и урожай», № 1, 2, 5, 1929.

выраженное в процентах от внесенных количеств питательных веществ и сопоставленное с использованием их в минеральных удобрениях, могло бы, кроме непосредственного интереса, иметь еще и следующее значение: если бы эта величина, хотя бы за очень большой промежуток времени, приближалась к использованию минеральных удобрений, то могло бы быть по разности урожаев оценено значение органического вещества навоза не путем только лабораторного изучения свойств почвы, а путем прямого отражения на величине урожаев.

Исследований, могущих дать ответы на подобные вопросы, не так много.

Нам уже неоднократно приходилось отмечать[3*], что большое число опытов, проведенных у нас на тему «Сравнение действия навоза и минеральных удобрений», не соответствуют такому заглавию, так как они ставились с такими малыми дозами азота в селитре, которые составляли $^1/_{10}$ или $^1/_{20}$ азота, вносимого в навозе. Так, если дается 1 ц селитры (что у нас почему-то было принято) и 400 ц навоза, то в первом случае дается 15—16 кг азота, а во втором —200 кг; ясно, что при такой постановке навоз всегда побеждал минеральные удобрения. Это то же самое, что давать одному человеку только по 200 г хлеба в день, а другому — по 2 кг картофеля и затем утверждать на основании такого опыта, что картофель гораздо питательнее хлеба.

Малые дозы селитры, применявшиеся в большинстве наших опытов, проводившихся до 1927 г., не только не согласуются с количеством азота в навозе, но они и не соответствуют действительной потребности растений в азоте; так, для хорошего урожая хлебов нужно в 5—6 раз больше азота, чем его содержится в 1 ц селитры, и для хорошего урожая свеклы в 10 или 12 раз больше (см. анализы урожаев, проведенные на Мироновской опытной станции).

Если фосфор и калий обычно вносились в достаточном количестве, то все же при недостатке азота остальные удобрения не могли проявить полного действия, а потому в целом ряде случаев получалась неправильная оценка действия всех минеральных удобрений.

Кроме неправильных практических выводов. такая постановка опытов приводила также к неправильным теоретическим заключениям, и часто перевес действия навоза относился целиком к влиянию органического вещества на физические свойства почвы. На деле же для учета роли органического вещества как такового в этих полевых опытах нет данных, а между тем разрешение этого вопроса имеет несомненное значение.

Учесть роль органического вещества в удобрениях мы можем, казалось бы, двумя путями: 1) по методу разницы и 2) путем прямого внесения в почву только органического вещества, без обогащения ее питательными веществами, которые вносятся с навозом в большом количестве и

[3*] Д. Н. Прянишников. Хроническая погрешность в оценке действия минеральных удобрений.— Сельскохозяйственная жизнь, № 4, 1927.

с действием которых обычно смешивается действие органического вещества.

Второй путь должен дать более ясный ответ на вопрос о влиянии органического вещества на физические свойства почвы, чем первый, потому что при первой постановке перевес в урожае на стороне органических удобрений может зависеть не только от влияния их на структуру почвы, но и от того, что при этом внесение питательных веществ не связано с повышением концентрации почвенного раствора. Это имеет значение в засушливом климате или при почвах, богатых солями (например, в Средней Азии); возможно ожидать, что смесь жмыха с минеральными удобрениями будет действовать лучше, чем то же количество питательных веществ в виде растворимых солей. Но второй путь, т. е. прямое внесение органического вещества, свободного от азота и зольных веществ, труднее осуществим в полевом опыте, и поэтому пришлось начать с применения метода разницы с тем, чтобы, если бы оказалось, что органические удобрения дают больший эффект, чем минеральные, перейти к более сложным опытам по выяснению причин этого явления.

Метод разницы требует такой постановки опыта по сравнению различных удобрений, к какой до сих пор у нас почти не прибегали, а именно нужно внести в минеральные удобрения те количества питательных веществ, какие содержатся в навозе (N, P, K и Ca). При строгой постановке желательно не вносить ничего лишнего (например, избытков натрия в селитре или серной кислоты в аммиачных солях), тогда различие в действии навоза и минеральных удобрений должно зависеть только от присутствия органического вещества [4*].

Среди проведенных у нас многочисленных опытов, носящих не отвечающую содержанию этикетку «Сравнение действия навоза и минеральных удобрений», выдается опыт Мироновской станции, заложенный при самом ее основании С. Л. Франкфуртом и по идее вполне отвечающий интересующему нас заданию, т. е. проведенный при полном выравнивании количеств питательных веществ в сравниваемых удобрениях, при норме навоза 75 ц на 1 га под каждую культуру. Однако при осуществлении опыта в него вошли приемы, мешающие установлению полной оценки действия как навоза, так и минеральных удобрений. Так, в опыте со свекловицей в бессменной культуре не было оставлено неудобренных делянок в собственном смысле слова, а за мерку принимались делянки, получившие рядовое удобрение под свеклу. Если количество азота в таком удобрении невелико, то доза фосфора (30 кг P_2O_5 на 1 га) достаточно

[4*] Так как значительная часть питательных веществ в навозе содержится в труднорастворимой форме, опыт должен быть многолетним. При этом влияние излишков таких компонентов, которые в навозе не сильно представлены (натрий или серная кислота), будет суммироваться и менять реакцию почвы и другие ее свойства. Поэтому при длительном опыте по учету роли органического вещества вместо $NaNO_3$ следует брать, например, $Ca(NO_3)_2$ или KNO_3, частично дополняя мочевиной, азотнокислым аммонием и т. д.

велика, чтобы оказать значительное действие, тем более что в основном удобрении (вернее, дифференцированном удобрении) вносилось почти вдвое меньше фосфора, чем в удобрении местном, которое получали контрольные делянки. Таким образом, главный фактор действия удобрений на черноземе —фосфор — был ослаблен в этом случае тем, что почти $^2/_3$ фосфора (эффект от которых, конечно, гораздо выше, чем от последней трети) даны были и на контрольных делянках; поэтому на удобренных делянках могло проявиться в полной мере только действие азота и калия, но не фосфора.

Тем не менее эти опыты дали очень интересные результаты; валовой урожай свеклы (т. е. корни и листья, вместе взятые) оказался в течение ряда лет совершенно одинаковым на делянках с навозом (221 ц) и с минеральными удобрениями (227 ц), т. е. положительной роли органического вещества не проявилось.

При опыте со свеклой в различных севооборотах также были получены результаты, близкие для навозного и минерального удобрений; возьмем данные сводной таблицы, в которой объединены итоги для нескольких севооборотов (дозы навоза в т/га, урожай в ц/га) [5*].

Удобрение за время севооборота по расчету на навоз	30	37,5 (а)	37,5 (б)	45	52,5
Без удобрения	197,8	204,3	298,0	307,2	519,2
Навоз	242,7	242,8	385,2	402,0	418,0
Минеральное удобрение	256,3	241,5	404,3	404,0	424,2

Также и для овса: результаты близки или имеется легкий перевес на стороне минерального удобрения:

Без удобрения	17,1	22,2	–	17,7	17,5
Навоз	19,5	24,3	–	18,1	18,4
Минеральное удобрение	20,1	25,5	–	17,7	18,9

Только для озимой пшеницы, которой предшествовал пар, результаты были несколько иные:

Без удобрения	20,7	19,3	20,4	23,2	22,3
Навоз	22,3	24,7	25,3	24,9	24,3
Минеральное удобрение	21,7	22,6	21,6	24,1	22,2

Так как потребность озимой пшеницы в удобрениях в этих условиях очень мала (что видно по урожаям без удобрения), то можно думать, что при внесении минеральных удобрений их побочное отрицательное

[5*] А. К. Филиповский. В кн. «Труды Мироновской опытной станции», т. 1, стр. 332.

влияние (повышение концентрации солей при не очень влажном климате) не могло быть компенсировано их положительным действием [6*].

В случае внесения навоза заметного повышения концентрации солей вначале не было, а полезное влияние могло проявиться позднее, когда растения предъявили все же некоторый (хотя и небольшой) спрос на добавочные питательные вещества.

Высокий уровень урожаев без удобрения показывает, что общий фон для сравнения возрастающих доз удобрения не был подходящим. Поэтому в мироновских опытах, даже учитывая данные для пшеницы, нельзя еще видеть влияния органического вещества навоза на структуру почвы. При желании можно объяснить это тем, что опыт поставлен на черноземе, который по своей природе, помимо богатства питательными веществами, обладает достаточно хорошими физическими свойствами; но тем не менее важно хотя бы для чернозема иметь данные относительно наличности или отсутствия влияния органических веществ [7*]. Для нечерноземной же полосы мы пока не располагаем и такими опытами — постоянный перевес питательных веществ на стороне навоза замаскировывал выводы [8*]. Посмотрим, что дает нам в этом отношении Запад.

В иностранной литературе мы имеем не только массу разнообразнейших опытов и хозяйственных примеров успешного применения под отдельные культуры больших количеств минеральных удобрений взамен навоза, но иногда даже примеры систематического ведения безнавозного хозяйства в известных условиях в течение ряда десятилетий. Например, в окрестностях Гронингена в Голландии преобладает двухпольный севооборот: картофель — рожь; картофель идет на крахмальные заводы, а ржаная солома — на бумажные фабрики. Последнее обстоятельство и заставляет здесь вести безнавозное хозяйство с применением громадных количеств минеральных удобрений (800 кг селитры и по 1100 кг томасова шлака и калийных солей), что дает возможность на этих прежде «бросовых землях» получать в течение десятилетий устойчивые урожаи в 270—280 ц картофеля и 27—28 ц ржи с гектара. Отметим, что приведение этих земель (вересковых пустошей и выработанных торфяников) в культурное состояние всегда начинается с заправки почвы известкованием, поэтому можно предполагать, не это ли обстоятельство и делает ненужным внесение органического вещества даже на вересковых пустошах.

6* Кроме того, за время опыта вследствие очевидного избытка азотистого питания из удобрений под озимь был совсем исключен азот; таким образом, получился переход от одной крайности в другую, навоз же благодаря меньшей растворимости занял промежуточное (т. е. в данном случае самое выгодное) положение. Далее необходимо отметить, что испытание ежегодного внесения сернокислого аммония все-таки не есть испытание действия минерального удобрения вообще.

7* Не говорим здесь о ряде других важных результатов этих опытов, как, например, обнаружен факт быстрого истощения почвы калием (при удобрении только азотом и фосфором) такой почвы, которая раньше считалась (пока применялся навоз) застрахованной от калийного голодания.

8* Теперь подобный опыт ведется на Долгопрудном опытном поле НИУ.

При всем значении этих фактов все же мы не имеем здесь непосредственного сравнения минеральных удобрений и навоза в смысле, выше нами намеченном.

С другой стороны, в вегетационных опытах имеется масса сопоставлений, казалось бы, именно этого рода, из них выведен известный коэффициент Вагнера для действия азота навоза, в среднем считающегося равным 25% (если действие селитры принять за 100); этот коэффициент относится к действию первого года. Но если при выведении этого коэффициента допускается, что значение органического вещества навоза равно нулю, то ведь это относится, во-первых, к условиям вегетационного опыта, а во-вторых, здесь нет многолетнего систематического учета значительной серии урожаев.

Но если мы станем искать длительного, методически правильно проведенного полевого опыта с соблюдением условий выравнивания количества питательных веществ в навозе и других удобрениях, то мы должны будем прийти к выводу, что даже опыты в Ротамстеде, имеющие 90-летнюю давность, не вполне удовлетворяют поставленному нами условию.

Тем не менее они представляют для нас большой интерес, так как эти опыты свободны от погрешности, какую мы отметили для большинства прежних опытов; именно в Ротамстеде применяли под каждую культуру дозы азота, более близкие к потребностям растения, т. е. начиная с 2,5 ц селитры (и выше), а не с одного, как это было у нас. Правда, ротамстедские опыты относятся опять-таки не к целому севообороту, а к бессменным культурам ячменя и пшеницы, причем ежегодно растения получают на одних участках «обычную в хозяйстве» дозу селитры, вносимую под каждое растение (2,5 ц или кратную величину), а на других — обычную дозу навоза (около 330 ц). Однако в хозяйстве эта доза относится к целому севообороту, а не к отдельному году.

Это не было учтено авторами схем, по которым были заложены опыты в 40-х годах прошлого столетия. При повторении опыта каждой год снова вносилась та же доза удобрения, поэтому навозные делянки получали ненужный избыток питательных веществ, что мешает правильной оценке действия навоза по сравнению с минеральными удобрениями. Потери от вымывания и отложения азота в закрепленной форме в гуминовых веществах почвы были значительны, а коэффициент использования азота растениями низок. Такая постановка получилась благодаря тому, что в многолетний опыт пошла та самая схема, по которой заложил свои опыты Лооз в 1844 г., когда он взял «обычное в хозяйстве» количество навоза; но то, что дается в хозяйстве на целый севооборот, начали повторять при бессменной культуре ежегодно.

Но если иметь в виду не оценку использования азота (и других питательных веществ) навоза, а обратить внимание на делянки с минеральными удобрениями, то они в опыте с пшеницей представляют большой интерес, именно здесь при повышенных дозах азота в минеральных удобрениях урожаи за 90 лет не уступают урожаям навозных делянок, при-

чем в течение 70 лет урожаи тех и других держались на высоте 30—35 гектолитров, а понижение за последние 20 лет, проистекающее от бессменности культуры (недостатки обработки и борьбы с сорными травами), проявилось в такой же мере на навозных делянках, как и на делянках с минеральным удобрением.

Урожаи пшеницы (в гектолитрах с гектара)

	1852—1861 гг.	1862—1871 гг.	1872—1881 гг.	1882—1891 гг.	1892—1901 гг.	1902—1911 гг.	1912—1921 гг.	1922—1931 гг.
Без удобрения	14,3	12,7	9,3	11,3	11,0	9,8	7,6	8,1
По навозу	30,7	33,7	25,8	34,3	35,2	31,5	23,1	19,8
По минеральным удобрениям:								
1) без азота	16,5	13,9	10,9	12,4	13,3	12,1	8,5	9,4
2) 47 кг/га азота	24,4	23,1	17,2	22,0	20,7	19,2	14,1	14,6
3) 94 кг/га азота	31,2	32,2	24,2	31,4	28,6	27,7	20,6	21,0
4) 141 кг/га азота	32,4	36,4	28,0	34,5	34,6	33,4	23,5	21,1

Это равенство урожаев в том и другом случае тем более удивительно, что азот все время давался в виде сульфата аммония, в количествах от 227 до 681 кг этой соли на гектар. Только исключительно богатые почвы, подобные суглинку Ротамстеда, содержащие много поглощенного кальция да еще и достаточный запас углекислого кальция, могут выносить без ухудшения одностороннее удобрение физиологически кислыми солями.

Приведем данные этих опытов, начиная с 1852 г. Чтобы исключить влияние периодических колебаний в зависимости от непостоянства климата и трудности борьбы с сорными травами при бессменной культуре, приведем средний урожай по навозу и минеральным удобрениям.

Без удобрения	Навоз	Минеральные удобрения с содержанием			
		0	47	94	141 кг азота
10,5	29,3	12,1	19,4	26,1	30,4 гектолитра с 1 га

Таким образом, в этих опытах внесение органического вещества не нашло никакого отражения в урожаях; при 141 кг азота в минеральных удобрениях они держались на одном уровне с делянками, обильно унавоженными, или даже несколько их превосходили, поэтому совершенно напрасно ссылаться на ротамстедские данные, когда желают привести пример положительного влияния органического вещества навоза. Точно так же неправильно было бы обобщать данные этого опыта и говорить о не-

нужности внесения органического вещества вообще. Эти данные относятся к почвам с сильно развитым поглощающим комплексом, насыщенным основаниями, на почвах же со скудно развитым поглощающим комплексом внесение навоза, конечно, является мощным средством повысить поглотительную способность почвы вообще и степень насыщения поглощающего комплекса в частности. Но примеры такого влияния нужно искать не в Ротамстеде.

Нужно отметить еще одно обстоятельство: в данном опыте были делянки не получавшие навоза, но остается неизвестным, играло ли какую-нибудь роль в повышении урожаев при больших дозах азота также и то органическое вещество, которое образовалось в почве за счет разложения корневой системы, которая, конечно, развивалась тем сильнее, чем больше возрастал урожай при повышении дозы азота, а в последующие годы это могло создавать известные различия в пользу сильнее удобрявшихся делянок также в отношении физических свойств почвы.

Другая серия ротамстедских опытов, проведенная с ячменем, как мы уже сказали, отличается от опыта с пшеницей в худшую сторону, так как здесь не было дано возрастающих доз азота (двойной и тройной), а только одиночная (47 кг/га), в то время как в навозе и здесь давалось по 175 кг азота ежегодно. Правда, здесь избегнут риск вредного влияния физиологической кислотности, так как, в отличие от опыта с пшеницей, здесь вводилась чилийская селитра, а не сернокислый аммоний, однако это не устраняет сказанного о недостаточности дозы азота в удобрении.

Кроме того, в полном удобрении, благодаря неполноте знаний в период закладки опытов, введены были в избыточном количестве малонужные соли: именно, вместо того чтобы к азоту и фосфору добавить только калий, там были введены еще сульфаты натрия и магния, и они вносились ежегодно; это должно было изгонять поглощенный кальций из почвы, и, действительно, через 30—40 лет от начала опыта урожаи по «полному удобрению» стали уступать урожаям по азоту плюс фосфор.

И тем не менее, несмотря на чрезвычайно сильный перевес азота в навозе и присутствие избытка ненужных солей в «полном удобрении», в течение первых семи лет урожаи по минеральному удобрению превышают урожаи ячменя по навозу:

	1852 г.	1853 г.	1854 г	1855 г.	1856 г.	1857 г.	1858 г.
Навоз (175 кг азота)	33,0	36,3	56,4	50,3	32,3	51,2	55,0 бушелей на 1 акр *
Минеральное удобрение (47 кг азота)	45,3	44,3	62,3	49,6	37,6	64,8	56,2
Без удобрения	27,2	25,7	35,0	31,0	13,8	26,2	21,5

* J. H. Gilbert. Agricultural Investigations of Rothamsted (during a period of fifty yers), 1893.

И только впоследствии, когда, с одной стороны, вступают в действие избытки азота, скопившиеся в почве на навозных делянках (суммирующееся за ряд лет последействие), а, с другой стороны, избыток ненужных солей изгоняет значительную часть поглощенного кальция в почве, навозное удобрение постепенно начинает брать верх над «полным удобрением».

Средние урожаи ячменя по восьмилетиям

	1852—1859 гг.	1860—1867 гг.	1868—1875 гг.	1876—1883 гг.	1884—1891 гг.
Навоз (175 кг азота)	44,2	52,4	49,5	52,2	44,6
«Полное удобрение» (47 кг азота)	48,6	51,4	44,8	44,4	(37,2)
NP *	46,7	51,2	45,6	42,2	41,1
Без удобрения	24,2	18,0	14,5	14,6	11,7

* Без излишних солей.

Правильность нашего объяснения относительно постепенного накопления вредного влияния избытка солей в полном удобрении подтверждается тем обстоятельством, что к пятому восьмилетию урожаи по этому удобрению стали даже ниже, чем на делянке с азотом и фосфором (без калия), куда не вносились излишние соли натрия и магния.

Но главным недостатком в полном удобрении было то, что доза азота в нем была недостаточна; это ясно видно из сопоставления с данными для озимой пшеницы (см. выше), а также из того факта, что если взять приросты от селитры (сравнивая NP с одним P) и разделить на количество удобрений, то получится коэффициент, равный 4,4, т. е. селитра была использована «до отказа», и большего повышения урожаев при данном количестве азотистого удобрения ожидать не приходится [9*], навоз должен был дать большее повышение уже по одному количеству азота в нем. Но опять и здесь нельзя искать нормального коэффициента использования азота навоза — при ежегодном внесении 175 кг этот коэффициент был, конечно, пониженным.

Итак, при ближайшем рассмотрении ротамстедские опыты, как и мироновские, заставляют думать, что обычно наблюдавшаяся разница в действии навоза и минеральных удобрений еще не дает нам права делать заключение о размерах влияния органического вещества навоза, так как в первую очередь эта разница зависит от внесения с навозом бо́льших количеств питательных веществ, чем в сравниваемых с ним удобрениях; значение же органического вещества остается неучтенным.

[9*] Д. Н. Прянишников. Учение об удобрении, 1922, стр. 113.

Как выше упомянуто, весной 1927 г. мне пришлось отметить отсутствие в нашей литературе данных по таким опытам, в которых количество азота (и других питательных веществ) было бы выравнено[10*], но осенью того же 1927 г. мне удалось узнать о наличности многолетнего опыта в Дании, заложенного на основе такого выравнивания. Мне удалось совершенно неожиданно «открыть» наличность длительного опыта, поставленного при соблюдении равенства доз питательных веществ в навозе и других удобрениях, внесенных за севооборот. Опыт этот, проведенный в Аскове в течение почти 30-летнего периода (1893—1922), является наиболее совершенным из всех ставившихся по этому вопросу, но он оставался до 1927 г. неизвестным за пределами Дании.

Когда я приехал в Асков (1927), директор станции Карстен Иверсен как раз был занят корректурой отчета о почти 30-летнем опыте. Узнав, что я ищу такого длительного опыта с навозом, он спросил меня: «А какого результата вы ожидаете?». Я ответил, что ожидаю при длительном опыте равенства результатов для навоза и минеральных удобрений. Но оказалось, что я переоценил действие навоза, — оно даже при длительном опыте не могло равняться с действием минеральных удобрений.

Опыты эти поставлены с большой обстоятельностью на двух видах почв, в двух севооборотах в каждом случае. Кроме опытов по вопросу о влиянии равных доз имеется большая серия опытов с возрастающими дозами того и другого вида удобрения. Так как опыты проведены на бедных почвах, то действие удобрений гораздо сильнее, чем в Мироновке, и возможность сравнения поэтому здесь бо́льшая.

Главным результатом этих опытов, проведенных на почвах определенной зоны, является установление того факта, что полное минеральное удобрение (селитра, суперфосфат и калийная соль) все время давало более высокие урожаи, чем навоз, если количество питательных веществ было всюду одно и то же. Эти урожаи достигают при нормальных размерах удобрений и при известном распределении их между отдельными культурами 125%, если урожай по навозу принять за 100; а так как удвоение количества навозного удобрения против нормы также дает урожай, равный 125%, то отсюда следует, что в условиях датского опыта действие минеральных удобрений равно действию двойного количества питательных веществ, внесенных в виде навоза.

Это же отношение, как среднее, установлено было при разных дозах вносимых удобрений, причем на одних почвах оно было несколько выше (например, по действию равно 1:2,3), на других несколько ниже (например, равно 1:1,9). Приведем здесь для иллюстрации сказанного рис. 1, показывающий увеличение урожаев от внесения одинаково возрастающих доз питательных веществ в навозе и в минеральных удобрениях по средним данным одного из опытов, который продолжался 12 лет.

[10*] Я разумею нечерноземную полосу — для чернозема по этой мысли был заложен опыт в Мироновке.

Таким образом, в датских опытах не только не оказалось никакого положительного влияния от внесения органического вещества, но скорее оно играло роль отрицательного фактора вследствие малой доступности азота, в нем содержащегося.

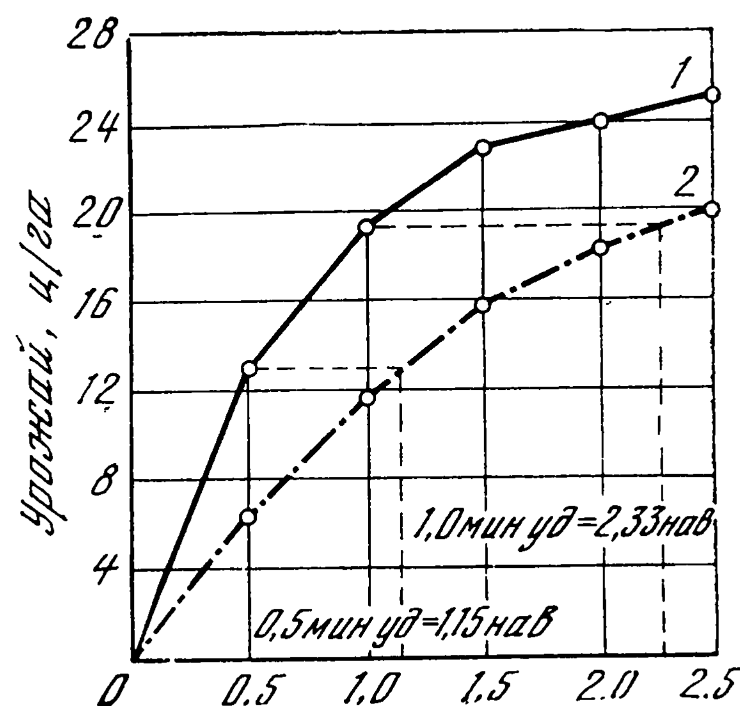


Рис. 1. Влияние возрастающих доз навоза и минеральных удобрений (ст. «Асков»)

1 — минеральные удобрения; *2* — навоз

Нужно заметить, что изображенные на рис. 1 кривые построены на фактических данных в пределах делений от 0,5 до 1,5 (т. е. приблизительно для количеств навоза от 5 т до 10 т на каждый год), продолжение же для более высоких доз нанесено на основании расчета; теоретически при еще бóльших дозах обе кривые должны сближаться. Но здесь следует принять во внимание, что при больших дозах должно сказаться (даже в датском климате) влияние избыточной концентрации и для минеральных удобрений оно должно проявиться раньше, чем для навоза.

Поэтому когда при очень интенсивной культуре и стремлении получить максимальные урожаи хотят дать очень сильное удобрение, то применяют одновременно и навоз, и минеральные удобрения, чтобы избежать слишком большой концентрации солей весной и в то же время дать достаточный запас питания на вторую половину лета.

Чем суше климат, тем эта регулирующая роль менее растворимых форм удобрений (а в том числе и органических соединений) должна быть больше; но это соображение не имеет ничего общего с вопросом о влиянии органического вещества на структуру почвы.

Кроме установления упомянутых соотношений в датских опытах была проведена интересная работа по выяснению причин худшего действия навоза, а также имеется весьма ценный материал к характеристике отдельных растений по их отношению к минеральным удобрениям и к навозу.

ВЛИЯНИЕ ЗАМЕНЫ НАВОЗА МИНЕРАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ КУЛЬТУР И ЦЕЛОГО СЕВООБОРОТА

Датские опыты по сравнению действия навоза и минеральных удобрений являются наиболее правильно поставленными и проведенными за более длинный (почти 30-летний) срок, чем аналогичные опыты в Мироновке, и имеют в основе ту же самую исходную мысль. Но опыты в Мироновке заложены на черноземной почве высокого плодородия, датские же опыты относятся к почвам оподзоленной зоны, для которых внесение органического вещества считается особенно важным, а как раз у нас для нечерноземной полосы таких опытов не имеется.

Сводка чрезвычайно интересных результатов этих опытов появилась на датском языке только в конце 1927 г., а вне пределов Дании об этих опытах знали чрезвычайно мало. Опыты эти были заложены по инициативе правительственного агронома Нильсена в 1893 г. на двух станциях — в Аскове и Тистофте, но в Тистофте они прекратились после смерти инициатора (1897), а в Аскове они были продолжены до 1922 г., когда план подвергался изменениям.

В Аскове опыт был проведен на двух почвах (суглинистой и песчаной), в каждом случае в двух севооборотах. Основная тема опытов заключалась в возможно полном выравнивании количества питательных веществ в минеральных удобрениях и в навозе; за 25 лет опытов в нем на 1 га в год пришлось питательных веществ (в кг):

	N	P_2O_5	K_2O
В навозе	41,4	28,9	37,5
В минеральных удобрениях	40,3	29,6	36,3

Таким образом, выравненность была в значительной мере достигнута. Опыты были поставлены в четырехполье норфолькского типа в двух его вариантах — свекольном и картофельном.

Известная условность при постановке такого опыта заключается в решении вопроса о распределении удобрений во времени: как вносить навоз и минеральные удобрения — ежегодно то и другое, в равной дозе каждый год под каждое растение (как это сделано в Мироновке) или же вносить навоз один раз в течение севооборота (в данном случае четырехпольного), а минеральные удобрения — ежегодно.

В Аскове было принято промежуточное решение: навоз вносился в два приема за 4 года, а минеральные удобрения — в четыре. Но способ разверстки между отдельными культурами во времени был не совсем выдержан, именно до 1907 г. соблюдалось буквальное равенство в распределении минеральных удобрений для всех культур и для всех удобрений, а с 1907 г. равенство осталось только для суперфосфата и каинита. а по отношению к селитре были введены следующие различия (в кг):

Корнеплоды	Овес	Клеверная смесь	Рожь
450	270	135	248

Также и для навоза с 1907 г. произошла некоторая перемена в разверстке: при общей дозе 36 т на 4 года до означенного года одна половина этого количества вносилась под корнеплоды, а другая под рожь; после же этого навоз стал вноситься не под рожь, идущую по клеверу, а под овес, предшествующий клеверу, но в меньшей дозе — 9 т, а корнеплоды стали получать 27 т.

Второй способ распределения несколько повысил общий эффект минеральных удобрений по сравнению с навозом; конечно, относительная доля отдельных растений в общей продукции за весь севооборот подвергалась, в зависимости от этих изменений, некоторым колебаниям, которые, однако, нисколько не затрагивают основных результатов опыта. Эти колебания устраняются тем способом выведения итога для всего севооборота, который принят в Дании, а именно урожаи всех культур пересчитываются на общие единицы, зерновые (или кормовые) эквиваленты. Основной урожайной единицей считается 1 тыс. кг ржаного зерна, также 1 тыс. кг сухого вещества в картофеле и в корнеплодах, 1200 кг зерна овса, 2500 кг сена и 5 тыс. кг соломы приравниваются 1 тыс. кг зерна ржи, т. е. одной единице урожая.

Делянки в различных севооборотах имели размер от 55 до 70 кв м при 4—5 повторениях.

Рассмотрим результаты, полученные на суглинке в четырехпольном севообороте со свеклой.

1. Опыты в свекловичном четырехполье на суглинке

Приводим данные для урожаев ржи (рис. 2) в том виде, как они сопоставлены автором отчета, т. е. после перечисления в урожайные единицы (это значит, что, например, в итоговые цифры урожая ржи входит и урожай соломы, приведенный к зерновым эквивалентам согласно вышеуказанному).

Урожаи ржи на неудобренных делянках с первых же лет падают, несмотря на присутствие клевера в севообороте; по-видимому, некоторый запас прежнего плодородия исчерпывается за первые 8—9 лет, и дальше устанавливается некоторое равновесие — в данном случае на уровне около 15 урожайных единиц, что отвечает приблизительно 11 ц фактического урожая зерна. Эти цифры приблизительно в полтора раза превышают тот уровень, до которого опустились урожаи пшеницы в Ротамстеде (7—8 ц) после 30 лет бессменной культуры на плодородном суглинке.

Хотя опыты проведены в разных условиях, на разных почвах и их трудно сравнивать, но все же влияние севооборота с клевером, очевидно, удерживало урожаи в Аскове на большей высоте, чем в Ротамстеде при бессменной культуре.

Что касается хозяйственной оценки этого результата (11 ц зерна на 1 га), то она, конечно, будет для разных стран различна.

В Дании этот уровень для хозяйства является разорительным, ведь это около 45% десятилетнего среднего урожая для всей страны. Для нас же этот уровень составлял бы 150% среднего урожая, т. е. являлся бы даже обогатительным. Таково влияние «принципа относительности» в оценке хозяйственных приемов для разных стран в разные периоды их хозяйственного развития. Этим и объясняется разнообразие взглядов на сравнительное значение удобрений, с одной стороны, и обработки (на фоне клевера или при наличности чернозема) — с другой.

Сравнивая урожаи ржи на удобренных делянках, мы видим, что по минеральным удобрениям рожь каждый год давала заметно больший урожай, чем в навозном севообороте, причем это соблюдалось не только во второй период опыта, когда навоз непосредственно под рожь не вносился, но и в первый период, когда рожь получала навоз непосредственно; в среднем, если принять урожай по навозу за 100, то урожаи по минеральным удобрениям составляют 124%, а без удобрения — 63%. Таким образом, положительной роли органического вещества навоза здесь не проявилось — урожаи без органического вещества были выше.

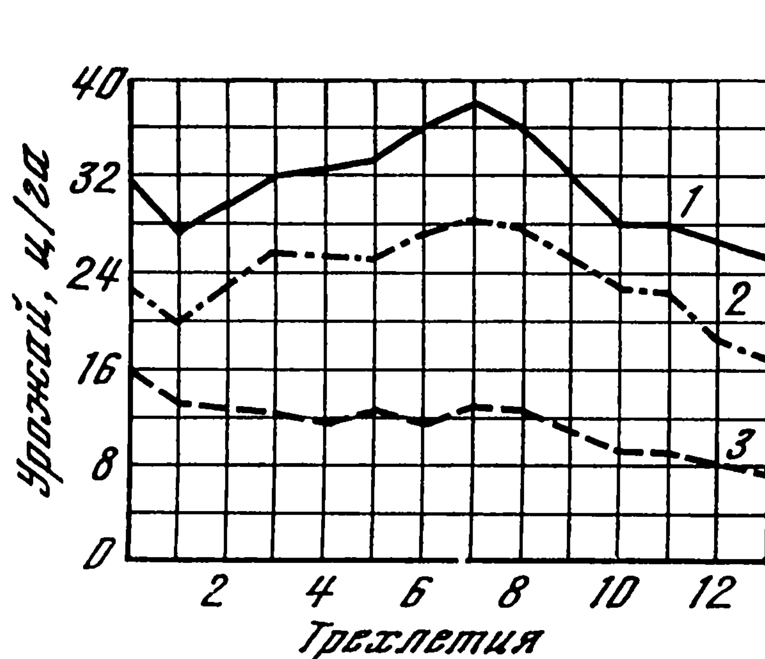
Интересно, что в течение первых 14 лет, когда рожь получала непосредственно навоз, в нем содержался 81 кг азота, а в минеральных удобрениях — только 44 кг азота, и все же урожаи были выше по минеральным удобрениям, чем по навозу (отношение колебалось между 111 и 120%). К концу же периода, когда, казалось бы, все остатки от навоза, не только внесенного под предыдущие растения данного севооборота, но и от предыдущих циклов севооборота (за все 28 лет опыта), должны бы проявить свое действие («старая сила почвы»), перевес в действии минеральных удобрений стал еще выше (отношение поднялось до 135—149%).

Для полноты картины приведем еще непосредственные данные (без приведения к урожайным единицам) для урожаев зерна и соломы по минеральным удобрениям за первую и вторую половину опыта (в ц/га):

Годы	Зерно	Солома
1894–1906	22,96	44,4
1907–1922	23,0	48,5

Итак, никакого понижения урожая во времени от отсутствия внесения органического вещества в этих условиях не замечается.

Переходя к урожаю свеклы (см. рис. 3), для неудобренного ряда мы должны отметить гораздо более быстрое падение урожаев, чем для ржи, как и естественно ожидать для корнеплодов. Если средний урожай за три первых трехлетия (34,7 ц сухого вещества корней) принять за 100, то средний урожай трех последних трехлетий (12,6 ц) составит только 36,3%; по отношению к унавоженным делянкам этот урожай опускается в конце опыта до 28—30%, в то время как для ржи это отношение было



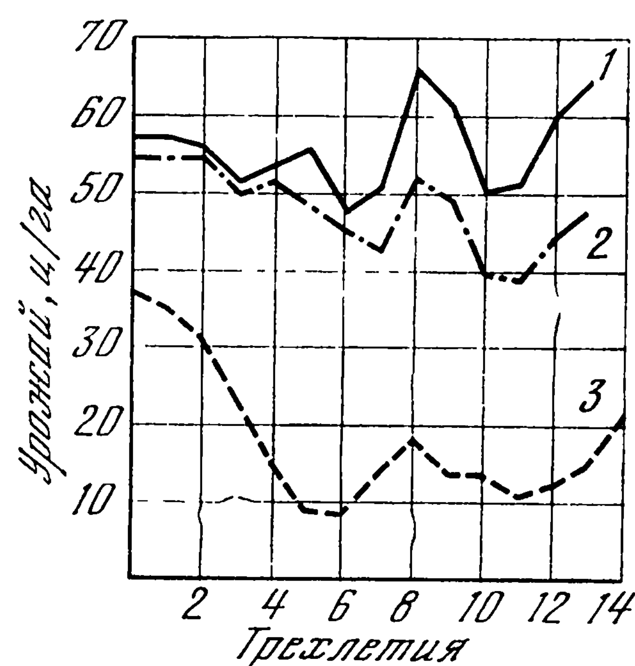
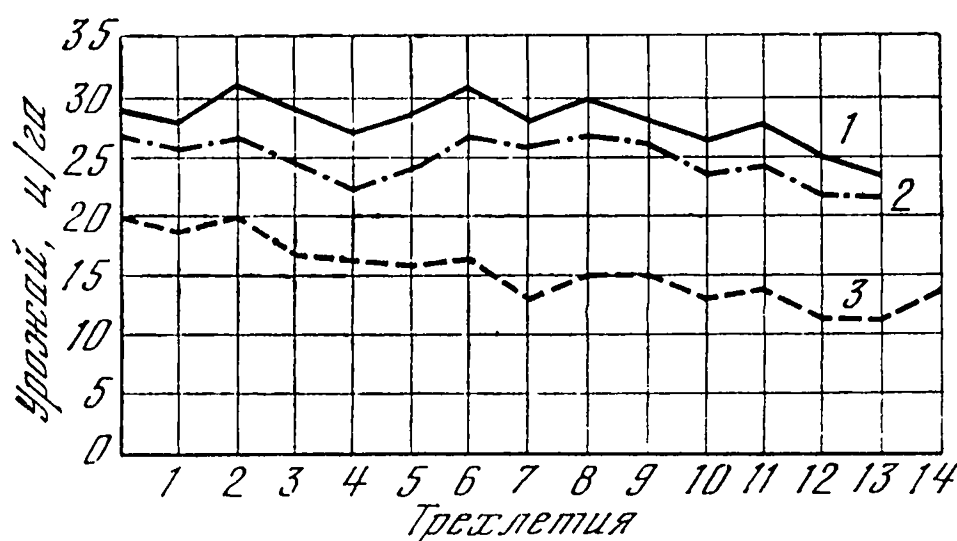


Рис. 2. Урожаи ржи (в пересчете всей массы в зерновые единицы)

1 — минеральные удобрения; *2* — навоз; *3* — без удобрения

Рис. 3. Урожаи свеклы (сухое вещество корней)

1—3 — то же, что на рис. 2



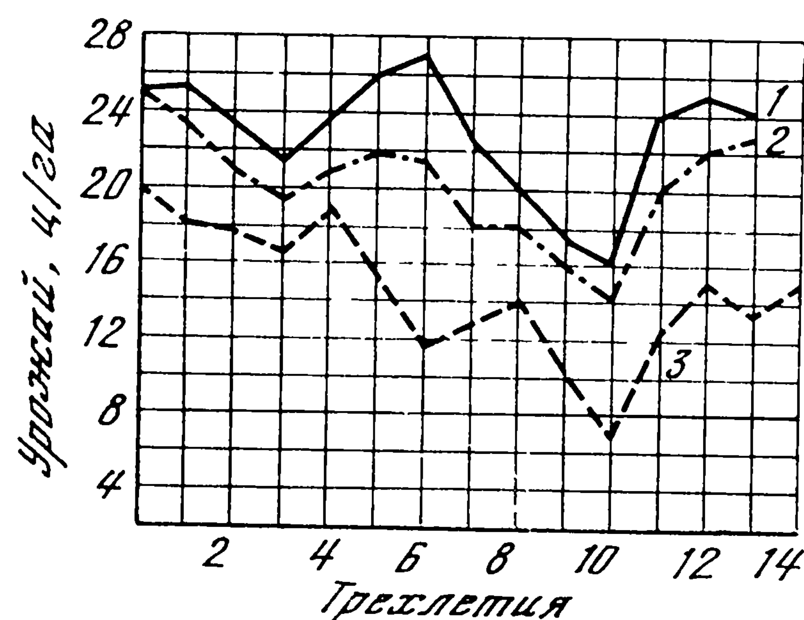


Рис. 4. Урожай овса (в зерновых эквивалентах)

1—3 — то же, что на рис. 2

Рис. 5. Урожаи трав (в зерновых эквивалентах)

1—3 — то же, что на рис. 2

68—69%; в среднем же для всего опыта оно равняется для свеклы 39%, а для ржи 63%. Еще одно сопоставление: в первые годы опыта, пока не была исчерпана «старая сила почвы» (1894—1897), свекла превосходила рожь в 2 раза по продуктивности[11*]; в последние годы на истощенной почве свекла или потеряла преимущество перед рожью, или даже опустилась по продуктивности ниже ее (1916—1919 и следующие годы).

На удобрявшихся делянках мы видим правильное превышение действия минеральных удобрений над действием навоза; в среднем за весь пе-

[11*] В сущности еще больше, так как в данном отчете пересчет в зерновые эквиваленты сделан почему-то только для корней свеклы, ботва сюда не вошла, а в случае ржи солома вошла в расчет.

риод оно равняется 114%, если урожай по навозу принять за 100. Продукция свекловичного клина за первую и вторую половину опыта по минеральным удобрениям была такова (в ц):

Годы	Корнеплоды	Листья
1894–1906	499	138
1907–1922	533	181

Некоторое увеличение урожаев во второй период объясняется тем, что начиная с 1907 г. перестали вносить селитру поровну под все культуры, а именно под свеклу стали вносить больше за счет уменьшения дозы под клеверную смесь; однако это не привело к выравниванию с навозом в отношении дозы азота под свеклу (такое выравнивание имеет место только для всего севооборота); именно вносилось азота под свеклу следующее количество (в кг):

	В навозе	В минеральных удобрениях	Отношение урожаев
В первую половину (1894–1906 гг.)	122	40	100:103
Во вторую половину (1907–1922 гг.)	127	68	100:125

Следовательно, минеральные удобрения давали больший урожай свеклы, несмотря на резкую разницу в количестве азота (и других питательных веществ). Можно сказать, что в первый период $^1/_3$ азота в селитре давала тот же эффект, как полная норма азота в навозе, а во второй период, когда дали в селитре больше азота (но все-таки меньше $^2/_3$ по сравнению с навозом), урожай по селитре равнялся 125% (в последнее же четырехлетие опыта он достиг даже 135% по сравнению с навозом).

На рис. 4 даны урожаи овса с перечислением соломы в эквиваленты зерна. Картина почти та же, что и в опыте с рожью; но урожаи без удобрения во вторую половину опыта падают ниже — до 54% урожая на навозных делянках, в то время как для ржи они понижались лишь до 68—69%. Отчасти это объясняется тем, что после 1907 г. овес стал получать некоторую дозу навоза непосредственно, но все же и абсолютно урожаи овса падают без удобрения ниже ржаных, как видно из соответствующих столбцов таблицы.

Годы	Рожь		Овес	
	зерно	солома	зерно	солома
1894–1906	12,5	24,5	16,3	23,5
1907–1922	11,0	22,1	11,2	16,6

Сопоставление данных опытов с овсом с приведенными ранее урожаями для ржи позволяет проконтролировать влияние перемены в распределении удобрений. С 1907 г. овес стал получать навоз непосредственно (вместо внесения его под рожь), следовательно, рожь в навозном севообороте должна была несколько проиграть (по сравнению с минеральными удобрениями), а овес несколько выиграть. Так как для обоих растений и в первую и во вторую половину опыта заметный перевес был на стороне минеральных удобрений над навозом, то, следовательно, этот результат в основном не зависел от того, под какие именно растения четырехлетнего севооборота вносился навоз.

Но все же следует отметить, что для овса во вторую половину опыта (1907—1922) наблюдается как раз полное выравнивание количества питательных веществ в навозе и других удобрениях, ибо под него давалась $^1/_4$ (9 т) навоза и $^1/_4$ минеральных удобрений, считая от общей нормы для всего севооборота; приведем для этой вполне безупречной части опыта непосредственные урожаи зерна и соломы (в ц/га):

Урожаи	Без удобрения	Навоз	Минеральные удобрения
Зерна	11,0	17,9	23,0
Соломы	22,1	35,7	48,5

На рис. 5 сопоставлены данные для укосов клеверной смеси, перечисленные в урожайные (зерновые) эквиваленты. Здесь мы должны отметить тот же основной результат — лучшее действие минеральных удобрений по сравнению с навозом; в среднем это выражается отношением 111 : 100.

Итак, для ржи, свеклы, овса и кормовых трав при полном выравнивании количеств питательных веществ в навозе и минеральных удобрениях получается заметное преимущество на стороне минеральных удобрений. Естественно, что эти же соотношения повторяются для всей суммы урожаев свекловичного четырехполья, подсчитанной по датскому способу, т. е. после приведения всех урожаев к «урожайным единицам».

Для нас эти суммы представляют интерес, поскольку они выражают некоторую равнодействующую, в которой должны сгладиться все частные влияния, как, например, влияние передвижки во внесении навоза (под овес вместо ржи) на отдельных культурах (хотя, как мы видели на овсе, и не доказанное).

Сводный подсчет данных по трехлетиям приводится на рис. 6.

В среднем же за весь период опыта продуктивность одного гектара в четырехпольном севообороте со свеклой равнялась (в зерновых эквивалентах, в ц)

Без удобрения	Навоз	Минеральные удобрения
16,5	30,1	34,8

Итоговые данные по отдельным культурам повторяют знакомые нам соотношения, давая в среднем за весь период отношение действия минеральных удобрений, равное 116 : 100, но и здесь сказывается влияние изменения, внесенного с 1907 г., когда индекс действия минеральных удобрений поднимается. Это значит, увеличение внесения селитры под

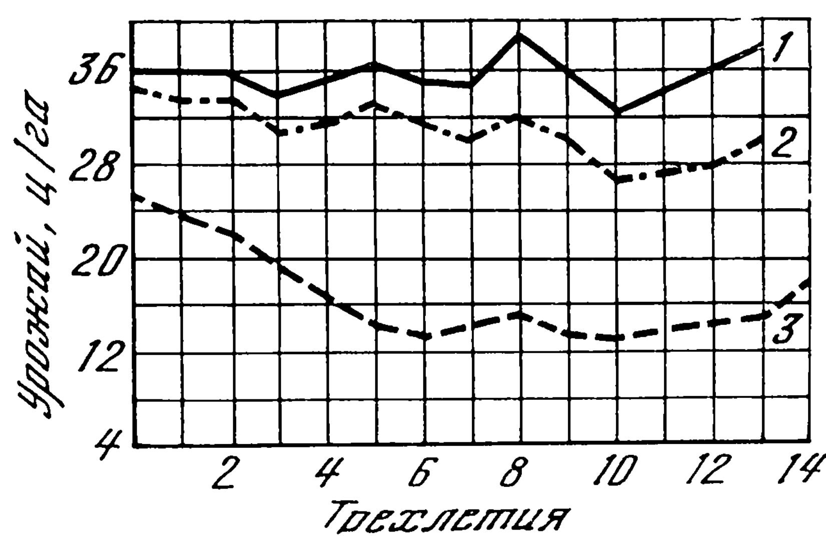


Рис. 6. Общая продукция четырехполья (в зерновых эквивалентах)

1—3 — то же, что на рис. 2

свеклу (за счет уменьшения дозы под травы) благоприятно сказалось не только на свекле, но и на суммарном эффекте от удобрений, и вместо отношения 110 : 100, преобладавшего в первый период опыта, во второй период средним является отношение 124 : 100. Следовательно, при принятых здесь нормах и при данном распределении удобрений между культурами в свекловичном четырехполье минеральные удобрения дают на 24% больший урожай, чем навоз, содержащий такое же количество питательных веществ.

2. Опыты в свекловичном четырехполье на песчаной почве

Опыты ведутся на тощей песчаной почве с почвенным слоем 20 см; подпочва — желто-красный песок, идущий на большую глубину. Лет 50 до закладки опытов эта площадь была под вересковой зарослью; при окультуривании удобрена глинистым мергелем; кроме того, за время ведения опыта дважды вводилась известь (4,5 и 3,6 т/га).

Общее количество удобрений здесь давалось такое же, как и на глинистой почве, но распределение во времени иногда имело отклонения, которые будут в соответственных местах отмечаться.

В урожаях ржи замечается для неудобренных делянок понижение во времени до более низкого урожая, чем на глинистой почве. На удобренных делянках здесь наблюдается значительно больший индекс превышения действия минеральных удобрений над навозом, чем на глинистой почве, именно в среднем 152% против 124% (если урожай по навозу принять за 100 в каждом случае). В первой половине опыта рожь получала непосредственно $^1/_4$ всего навоза (9 т), а во второй период рожь должна была довольствоваться последействием навоза, вносимого только под свеклу ($^3/_4$) и овес ($^1/_4$), однако отсутствие резкой разницы между ин-

дексом первой половины (146%) и за весь опыт (152%) говорит о большой устойчивости перевеса в пользу минеральных удобрений, независимо от различий во внесении навоза под те или иные культуры при равенстве его количеств для всех севооборотов.

Падение продукции свеклы на песчаных почвах без удобрения (даже в абсолютных цифрах) ниже, чем урожая ржи. На унавоженных делянках к концу опыта имеем падение до 28—29% (в случае ржи до 65—70%). При минеральных удобрениях средний индекс по сравнению с навозом (127%) опять выше, чем для свеклы на глинистой почве, но он ниже, чем для ржи на песчаной почве (152%), что объясняется (не раз отмеченным) внесением большей части навоза под свеклу, что создаёт крупный перевес в дозе азота: 80—126 кг в навозе против 40—67 кг в минеральных удобрениях. Таким образом, в разные периоды и здесь свекла дала крупный перевес в урожае по минеральным удобрениям, несмотря на невыгодную для последних разницу в дозе азота по сравнению с навозом.

Урожаи овса без удобрения падают также ниже ржаных. Для удобренных рядов здесь мы имеем за все время довольно хорошую сравни-

Таблица 1

Опыты на песчаной почве (урожаи в зерновых эквивалентах на 1 га)

Годы	Рожь			Свекла			Травы			Овес		
	неудобренная	навоз	минеральные удобрения	неудобренная	навоз	минеральные удобрения	неудобренная	навоз	минеральные удобрения	неудобренная	навоз	минеральные удобрения
1894–1897	16,4	19,4	29,8	20,1	35,7	45,0	12,0	17,5	19,4	12,4	18,3	24,3
1896–1899	14,8	18,5	28,3	18,6	30,3	40,7	7,0	16,4	20,0	8,5	13,3	17,9
1898–1901	14,6	19,9	29,6	19,6	34,6	42,8	5,4	16,5	19,2	9,0	15,1	20,9
1900–1903	14,7	24,2	33,3	18,2	38,0	45,0	5,2	18,6	20,9	9,9	16,6	22,8
1902–1905	15,1	24,8	34,2	14,2	34,8	44,1	6,9	20,3	22,9	9,7	17,2	23,0
1904–1907	15,2	23,1	33,1	14,9	35,4	45,1	6,6	18,6	22,1	10,3	18,9	26,8
1906–1909	15,3	26,3	35,3	14,5	33,8	48,8	6,1	24,7	28,8	10,5	19,9	28,2
1908–1911	14,9	25,4	35,2	17,8	39,1	56,4	6,5	26,2	27,4	9,8	19,6	26,3
1910–1913	11,9	18,3	32,0	19,4	48,4	58,5	6,7	18,6	20,9	10,6	22,7	30,3
1912–1915	11,0	16,2	29,2	14,9	45,8	54,9	6,6	15,9	18,7	8,7	19,6	26,4
1914–1917	12,1	19,3	29,7	10,4	35,5	41,3	5,8	18,1	18,8	6,6	15,0	18,5
1916–1919	11,8	19,3	30,4	9,6	33,1	37,4	6,9	17,3	19,6	7,2	16,3	21,1
1918–1921	10,5	15,3	25,9	8,7	31,1	43,0	6,4	17,1	15,9	7,7	14,6	20,8
1920–1922	10,8	13,9	24,3	8,1	28,5	41,1	5,0	9,1	12,6	7,3	14,1	18,9
Среднее за 1894–1922	13,6	20,3	30,8	15,0	35,9	45,7	7,0	18,0	20,5	9,4	17,5	23,6

мость между минеральными удобрениями и навозом. Так, в этом случае овес все время получал $^1/_4$ долю навоза (9 т) и почти такую же (23—25%) долю от общей дачи азота в селитре; это повышает значение полученного индекса (135%), не требующего никаких поправок (тогда как индекс для свеклы явно требует поправки в сторону повышения).

Урожай трав, так же как и всех предыдущих культур, регулярно во все годы был выше по минеральным удобрениям, чем по навозу. Снижение дозы селитры с 252 до 135 кг во второй период не сказалось заметно на индексе, очевидно, потому, что в смеси участвовал клевер.

Сводные данные для всего свекольного четырехполья на песчаной почве повторяют результаты опытов на глинистой почве, но здесь они еще более рельефны, как видно из следующего сопоставления для средних цифр (относительные урожаи):

Почва	Без удобрения	Навоз	Минеральные удобрения
Песчаная	49	100	132
Глинистая	55	100	116

Отметим, что индекс для первого периода (30%) и второго (33%) здесь мало разнится, несмотря на изменение порядка внесения навоза под отдельные культуры с 1907 г. (см. табл. 1).

3. Четырехполье с картофелем

В то время как для ржи, овса и трав в картофельном четырехполье получены урожаи совершенно такие же на суглинке, как и на песчаной почве, для картофеля постановка опыта не позволяет судить о том, как будут действовать на него минеральные удобрения и навоз в случае выравнивания доз питательных веществ. Видно только, что внесение 40 кг азота в селитре не может (в отличие от свеклы) вполне заменить 80 кг азота в навозе [12*], оно дает около 85% по урожаю клубней и 80% по урожаю сухого вещества на суглинке, для песчаной почвы соответственно 95 и 92%. Относительно того, какой результат получился бы для картофеля в случае выравнивания норм, можно только догадываться, что он был бы выше 100, между тем как урожай свеклы переходит за 100% даже без такого выравнивания.

Иное отношение картофеля, чем свеклы и хлебов, можно предположительно объяснить следующими соображениями: 1) картофель медленно прорастает и первое время, вследствие большого количества резервного материала в клубне, мало нуждается в питательных веществах; благодаря этому преимущество селитры перед навозом, а именно быстрота ее действия, в этом случае не проявляется полностью (а в дождливую весну

[12*] Во второй период опыта также обнаружено, что для картофеля 67 кг азота в селитре не заменяют 126 кг азота в навозе, в то время как для свеклы такая замена вызывает даже перевес урожая по селитре.

вымывание селитры могло быть бóльшим, чем азотистых веществ навоза); 2) так как в глинистых почвах индекс действия удобрений ниже, чем на песчаной почве, то, может быть, здесь проявилось механическое разрыхление от внесения неперепревшего навоза или влияние на физические свойства почвы продуктов разложения. Однако впредь до повторения опытов с выравненными количествами питательных веществ говорить о наличии этого влияния в случае навоза было бы преждевременным.

Еще нужно отметить, что во влажном датском климате картофель настолько часто поражается заболеваниями, что его культура там мало развита; этим и объясняется, что в Дании, в отличие от Германии и других стран, площадь под корнеплодами больше, чем под картофелем.

Во всяком случае, благодаря наличности других растений для картофельного севооборота, взятого в целом, продуктивность по навозу и минеральным удобрениям оказывается одинаковой на глинистой почве, а на песчаной верх берут минеральные удобрения, как это видно из следующих цифр общей продуктивности картофельного четырехполья на суглинке и на песчаной почве (в ц):

Почва	Без удобрения	Навоз	Минеральные удобрения
Суглинок	17,6	32,7	32,7
Песчаная	13,2	27,4	31,0

К сожалению, для картофеля, как уже отмечено, отсутствовало выравнивание количеств питательных веществ, вносимых в различных удобрениях.

В итоге датские опыты в той их части, которую мы изложили, привели к следующим результатам:

1. При условии выравнивания количеств питательных веществ в навозе и минеральных удобрениях действие навоза всегда было слабее действия минеральных удобрений.

2. Никакого отрицательного влияния от внесения одних минеральных удобрений (без органического вещества) за время опыта не проявилось: урожаи за вторые 14 лет по минеральному удобрению не были ниже, чем в течение первых 14 лет.

3. Отдельные растения относятся не одинаково к замене навоза половинным количеством питательных веществ в минеральных удобрениях; в то время как свекла дает в этих условиях около 120% по сравнению с урожаем на унавоженных делянках, картофель дает только 80—90%; хлеба занимают в этом отношении среднее положение между свеклой и картофелем.

Было высказано мнение, что в датских опытах только потому возможно было длительно обходиться без внесения органического вещества в виде навоза, что в севообороте был клевер; но делянки с минеральными удобрениями имели перевес по количеству корневых остатков над делянками неудобренными, гораздо больший по трем остальным культурам, за-

нимавшим 75% площади, чем по клеверу, занимавшему только 25% площади. Затем этому объяснению противоречат данные ротамстедского опыта с бессменной культурой пшеницы, в котором в течение чуть не целого столетия сохранялось равенство урожаев по навозу и минеральным удобрениям, если в последних давалось достаточное количество азота.

4. К вопросу об оценке навозного удобрения

В предыдущей главе мы изложили некоторые из важнейших результатов датских опытов по сравнению навоза и минеральных удобрений в той их части, в которой вносились равные количества питательных веществ в том и другом виде удобрений, соответствующие в итоге норме навоза в 10 т на каждый год (или каждый клин) севооборота.

При этом оказалось, что, несмотря на большую продолжительность опыта (7 оборотов норфолька), питательные вещества навоза неполно используются растением, поэтому урожай по минеральным удобрениям может превышать урожаи по навозу на 20—25% (иногда 30%), т. е. приблизительно отвечать урожаю, полученному при удвоенном количестве навоза. Но, кроме этого, на датских станциях были проведены различные опыты с навозом при другой постановке вопроса, чем описанные нами. В дальнейшем постановка вопроса была изменена в таком направлении: какие количества того и другого рода удобрений нужно внести, чтобы получить равные урожаи. В отдельных случаях можно было видеть и в прежних данных, полученных в Аскове, что половина нормы минеральных удобрений оказывала действие, равное полной норме навоза. Но чтобы разрешить вопрос, необходимо поставить опыты с возрастающими дозами

Таблица 2

Средние результаты за весь период опытов в Лингби (урожай в зерновых эквивалентах на 1 га)

Культура	Без удобрения	Навоз		Минеральные удобрения		1/2 навоза и 1/2 минеральных удобрений
		1/2	1	1/2	1	
Рожь	30,4	32,9	38,0	41,0	45,8	44,7
Ячмень	14,7	16,8	19,0	24,9	30,3	27,8
Овес	17,1	20,9	22,6	26,3	31,6	31,2
Свекла	36,5	58,3	71,2	71,9	85,2	80,3
Клевер 1-го года	18,8	24,6	28,8	25,3	34,7	29,9
Клевер 2-го года	13,1	22,2	24,1	22,9	23,7	28,7
Средняя продукция за год	22,6	29,2	34,1	35,3	41,8	39,7
То же (в %)	66	86	100	114	123	116

Таблица 3

Результаты (урожаи в зерновых эквивалентах), полученные за два года опыта в одном из севооборотов

Культура	Без удобрения	Навоз			Минеральные удобрения		1/2 навоза и 1/2 минеральных удобрений
		1/2	1	$1^1/_2$	1/2	1	
Кормовая смесь	13,8	16,1	17,5	16,6	19,6	23,6	21,2
Рожь	32,7	36,0	39,2	42,1	42,3	47,0	44,3
Ячмень	22,2	24,3	26,3	27,7	32,9	37,9	33,5
Свекла	45,6	71,1	85,5	93,4	76,0	86,6	86,1
Ячмень	22,5	27,0	30,2	33,7	28,1	32,3	30,7
Клевер 1-го года	24,0	28,6	30,8	31,5	27,1	25,9	28,2
Клевер 2-го года	14,2	22,6	26,6	29,3	24,3	27,0	27,7
Овес	21,0	21,6	22,3	23,1	25,9	27,0	25,4
Средняя продуктивность	24,5	30,9	34,8	37,4	34,5	38,4	37,1
То же (в %)	70	89	100	107	99	110	107

как навоза, так и минеральных удобрений. Такие опыты были проведены в Лингби в период 1910—1921 гг. и в Аарслеве в 1911—1918 гг. При этом принималось за норму навоза внесение 10 т на 1 га, считая на каждую культуру в севообороте, а минеральные удобрения (селитра, суперфосфат и калийная соль) вносились, как и в предыдущих опытах, в количествах, отвечающих содержанию питательных веществ в навозе (табл. 2, 3).

Таким образом, в этом опыте действие половины нормы минеральных удобрений превысило действие нормального количества навоза.

Опыты в Аарслеве были проведены на почве более связной, чем при других севооборотах, кроме того, азотистое удобрение здесь содержало аммиачную соль.

На основании суммы опытов на двух опытных станциях с несколькими севооборотами К. Иверсен приходит к выводу, что в среднем действие известного количества минеральных удобрений отвечает действию таких количеств навоза, которые содержат вдвое больше питательных веществ. При таком соотношении получаются следующие ряды:

Количество удобрения	0,25	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Приросты (в ц):								
от навоза (I)	3,6	6,4	8,6	10,3	12,7	14,1	15,0	15,6
от минеральных удобрений (II)	6,4	10,3	12,7	14,1	15,6	16,1	16,3	16,3
Разность (II—I)	2,8	3,9	4,1	3,8	2,9	2,0	1,3	0,7
II в % от I	178	161	148	137	123	114	109	105

Мы видим, что половинная норма в виде минеральных удобрений дает прирост в 10,3 ц валового урожая, а в случае внесения навоза эта цифра получается при полной норме (рис. 7). Нормальное количество питательных веществ в виде минеральных удобрений дает 14,1 ц прироста валового урожая, а навоз дает этот прирост при удвоенной норме (все время

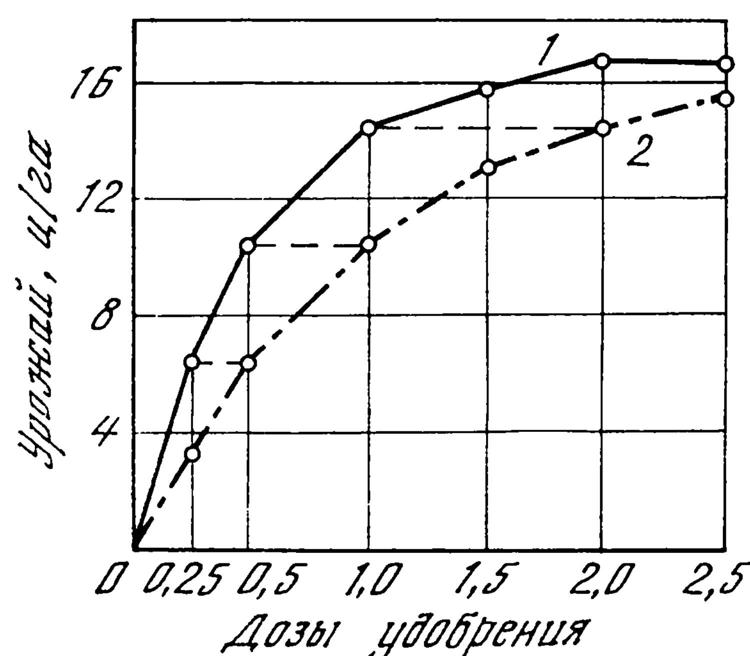


Рис. 7. Действие навоза и минеральных удобрений при одинаковом увеличении доз питательных веществ, вносимых в обоих случаях

1, 2 — то же, что на рис. 1

имеется в виду пересчет всех частей урожая в зерновые эквиваленты, как принято в Дании) и т. д. Если брать абсолютную величину разницы в действии навоза и минеральных удобрений, то различие в действии обоих видов удобрения является наибольшим при дозе около 0,75 от нормы; при очень больших дозах оно будет сглаживаться, точно так же оно сглаживается и при приближении к нулевой точке.

5. Причины меньшего действия навоза по сравнению с минеральными удобрениями

В опытах по этому вопросу, проведенных в Аскове в последующие годы, мы имеем главным образом дело с учетом потерь азота, вносимого с навозом. Потери происходят частью от улетучивания аммиака при вывозке и заделке навоза, частью от вымывания нитратов в осеннее и зимнее время из почвы, частью же от постепенного перехода в соединения, недоступные для растений («мертвый запас» в почве).

Потери от улетучивания аммиака, если навоз лежит в поле незапаханным, несомненно, имеют место, о чем говорит уже аммиачный запах с поля, на котором разбросан навоз. Размер этих потерь зависит не только от времени лежания навоза незапаханным, но еще и от погоды: ветер при теплой погоде (отсутствие мороза) особенно способствует увеличению потерь аммиака. В Аскове для небольших проб навоза, выставленных в поле на противнях, наблюдались, в зависимости от погоды, такие колебания в потерях азота (в процентах от всего азота навоза):

Через 1 сутки	Через 2 суток	Через 3 суток
11–16	17–22	22–27

Затем в обстановке полевого опыта испытывалось влияние на урожай времени лежания навоза в поле незапаханным, причем взяты были такие сроки: заделка тотчас (в пределах 20 минут), через 6 часов, через сутки и 4 суток. Опыты поставлены были в 15 пунктах.

В среднем результаты из всех опытов таковы (урожай в относительных цифрах):

Запахано тотчас	Через 6 час.	Через 24 часа	Через 4 дня
100	98	86	85

Урожай от половинного количества навоза, запаханного тотчас, равнялся 86%, лежание навоза в течение суток вызывало потерю половины действия навоза (урожай без навоза равнялся 71%).

Но главное различие в потерях азота между навозом и минеральными удобрениями заключается в вымывании его в осеннее и зимнее время. Азот селитры, вносимый по расчету на потребности одного растения, полностью им используется, и материала для осеннего и зимнего вымывания остается меньше, чем в случае навоза, которого вносится сразу больше, а используется растением меньшая часть, так как нитрификация продолжается и после уборки, причем при датской теплой зиме вымывание может происходить вплоть до следующей весны, когда всходы начнут улавливать корнями нитраты. Для суждения о размерах вымывания в Аскове были поставлены опыты с заделкой одинаковых количеств навоза осенью и весной с учетом влияния на урожай.

Вот средние данные:

Урожай (в %)	Внесение	
	осеннее	весеннее
На суглинке	93	100
» песчаной почве	86	100

Снижение урожая на 7% отвечает потере в питательных веществах на 22%, а 14% понижения урожая отвечают потере 35%; отсюда вывод: на песчаной почве 10 тыс. кг навоза, внесенного осенью, равноценны 6560 кг, внесенным весной.

Третий источник «потерь» азота навоза состоит в том, что в процессе гумификации часть его переходит в настолько закрепленные формы, что они даже при длительном опыте не переходят в доступное для растений состояние; может быть, этот процесс имеет место и при минеральных удобрениях, когда разлагаются корневые остатки, но, очевидно, в меньшей мере, так как почва навозных делянок оказалась в конце опыта со-

держащей на 190—200 кг больше азота на гектар, чем в случае минеральных удобрений.

Большой интерес представляет попытка опытной станции в Аскове учесть общий размер потерь в случае навоза и минеральных удобрений путем анализа урожаев и сопоставления содержащегося в них азота с азотом, данным в удобрениях. Так как кроме азота удобрений растения могли отчасти использовать азот почвы, какого бы ни был он происхождения (деятельность азотобактера, клубеньковых бактерий), то поправка на это количество азота определялась путем вычитания тех его количеств, какие содержались в растениях неудобренных делянок при первоначальном допущении, что количество азота, взятого не из удобрения, а полученного другими путями, одинаково для всех делянок (табл. 4).

Таблица 4

Потери азота (для свекольного севооборота в год в кг на 1 га)

	Для суглинка		Для песчаной почвы	
	навоз	минеральные удобрения	навоз	минеральные удобрения
Азот в удобрениях	42,3	41,3	42,3	41,3
» других источников	30,0	30,0	18,2	18,2
Всего	72,3	71,3	60,5	59,5
Найдено в урожаях	56,3	65,1	46,9	54,4
Потеря	16,0	6,3	13,6	5,7
Потеря (в % от азота в удобрениях)	38	15	32	13

Для картофельного севооборота потери на той и другой почве были больше, а именно соответственно: 49, 37, 39, 30% [13*]. Этот подсчет сделан на основании анализа урожая четырех растений севооборота. Но так как клевер, развивавшийся на удобренных делянках лучше, чем на неудобренных, может при повышении фиксации азота воздуха маскировать часть потерь азота, то правильнее исключить клевер из подсчета и дать цифры только на основании анализа трех растений (рожь, овес, пропашное).

Таким образом, недочет азота гораздо больше в случае навоза, чем в случае минеральных удобрений, он больше в картофельном севообороте, чем в свекольном, и на песчаной почве больше, чем на суглинке (табл. 5).

[13*] Особенно возрастают в случае картофеля потери азота в минеральных удобрениях, что подтверждает раньше высказанное предположение о весеннем вымывании селитры на картофельных полях.

Таблица 5

Размеры потерь азота без подсчета клевера (в %)

Севообороты	Для суглинка		Для песчаной почвы	
	навоз	минеральные удобрения	навоз	минеральные удобрения
Свекольный	51	18	66	26
Картофельный	62	43	72	46

Если мы вместо подсчета потерь возьмем процент использования азота в навозе и минеральных удобрениях, то получается такая картина для обычных норм навоза и минеральных удобрений (табл. 6).

Таблица 6

Использование азота в навозе и минеральных удобрениях (в %)

Севообороты	Суглинок		Песчаная почва	
	навоз	минеральные удобрения	навоз	минеральные удобрения
Свекольный	49	82	34	74
Картофельный	38	57	28	54

Таким образом, питательные вещества минеральных удобрений, даже при длительных опытах, используются растением гораздо лучше, чем питательные вещества навоза.

При всей приблизительности приведенных подсчетов они представляют большой интерес как первый опыт подхода к выяснению важнейших соотношений, до сих пор не имевших численного выражения.

Автор датского отчета К. Иверсен полагает, что, принимая в среднем использование питательных веществ навоза равным половине по сравнению с минеральными удобрениями, можно предложить такой способ определения ценности навоза: высчитать стоимость азота, фосфора и калия в навозе по ценам, существующим для минеральных удобрений, взять половину этой суммы и вычесть из нее разницу в стоимости вывозки в поле навоза и доставки минеральных удобрений.

Значение такого метода для разных стран, конечно, различно; но там, где применение минеральных удобрений является правилом благодаря выгодному соотношению цен на удобрения и на зерно, там, несомненно, важно сопоставить расчет, предлагаемый Иверсеном, с обычно предлагаемыми способами определения себестоимости навоза в хозяйстве.

Итак, датские опыты дали ряд интересных для практики выводов, не отмеченных у других исследователей или раньше не имевших цифрового выражения. Датский опыт не дал цифрового выражения для учета положительной роли органического вещества.

Но каков бы ни был общий баланс, он, конечно, не ведет к отрицанию известных положительных влияний органического вещества.

Если даже исключить влияние питательных веществ навоза — азота, фосфора и калия (и кальций нужно принять во внимание), то все же можно ожидать полезное влияние от внесения удобрений в виде органического вещества; например, внесение питательных веществ без того сильного повышения концентрации раствора в начале вегетационного периода, какое вызывают минеральные удобрения, и обеспечение постепенного увеличения количества нитратов и других питательных веществ в почве в последующее время — это обстоятельство в сухом климате может иметь большее значение, чем в климате Дании.

Далее, органическое вещество повышает буферные свойства почвы и ее способность противостоять различным вредным влияниям (например, вызвать вред избыточным внесением извести тем труднее, чем богаче почва органическим веществом). Выделяющаяся при разложении органического вещества углекислота является важным растворителем, что особенно резко видно из практики Голландии. Почва на польдерах, только что освобожденных от морской воды, богата поглощенным натрием и бедна известью, несмотря на то что под ногами хрустят раковины, состоящие преимущественно из углекислого кальция. Чтобы дать почве источник углекислоты и создать условия для растворения извести, которая затем вытесняет натрий из цеолитной части, приходится начать с внесения хотя бы неполного количества навоза, после чего структура почвы улучшается. Затем на польдерах ведется хозяйство в течение ряда лет без всяких удобрений, так как почва богата питательными веществами. Это очень типичный, но редкий случай, когда навоз вносится не ради азота, фосфора и калия, а ради органического вещества.

Известно, затем, что органическое вещество оказывает несомненное влияние на физические свойства почвы; однако практически это обстоятельство и все другие важны лишь постольку, поскольку они отражаются заметно на высоте урожая. И вот в датских опытах обнаружено, что в районе подзолистых почв при норфолькском севообороте внесение органического вещества в виде навоза не только не дает никакого плюса, но связано со значительно худшим использованием питательных веществ по сравнению с минеральными удобрениями, и это перевесило все положительные стороны действия органического вещества, как бы ни был длинен список этих положительных влияний.

В этом отношении необходима постановка опытов у нас на разных почвенных типах как по примеру датского опыта, так и в другой мыслимой постановке, чтобы иметь возможность судить о значении отдельных сторон действия навоза для разных районов на основании опытных

данных, а не на основании принятого на веру догмата о доминировании роли органического вещества навоза над ролью азота, фосфора и калия, которые вносятся с навозом в столь значительных количествах.

Будет ли результат иным для нашей нечерноземной полосы?

В сущности нет оснований ожидать этого; однако необходим прямой опыт. Затем может быть поставлен вопрос, будет ли результат таким же при отсутствии клевера в севообороте, так как, конечно, будет высказано мнение, что только наличность травяного клина в датском опыте позволила обходиться без внесения навоза в течение 30 лет. Далее, ввиду решающего влияния поглощенного кальция на физические свойства почвенных коллоидов, интересно знать, каковы будут результаты по учету роли органического вещества на почвах известкованных и неизвесткованных. На все это для наших условий пока нет ответа, который основывался бы на длительном опыте, подобном датскому.

Но, кроме метода, применяемого в Дании, желательно испытать и другие пути учета влияния органического вещества на высоту урожая, как равнодействующую положительных и отрицательных его влияний. Нелегко, конечно, найти такую форму внесения органического вещества в почву, при которой одновременно не вносилось бы некоторых количеств азота и зольных веществ, но мы уже указывали («Сельскохозяйственная жизнь», 1927), что есть косвенные пути обогатить почву органическим веществом, нисколько не меняя содержания азота и зольных веществ в почве, это — запахивание выращенной на месте зеленой массы небобовых.

Итак, нам необходима постановка многолетних опытов по учету влияния органического вещества на урожай в наших условиях на разных почвах и при различных климатических условиях, при использовании как метода разницы (выравнивание питательных веществ в навозе и других удобрениях), так и путем прямого обогащения почвы органическим веществом (без внесения азота и зольных веществ).

Когда мы будем иметь цифры не по отдельным только сторонам влияния органического вещества на те или иные физические свойства почвы, а и по общему итогу влияния навоза на высоту урожаев, мы сможем ответить на вопрос, отвечает ли действительности господствующее у нас воззрение на доминирующее над всем прочим значение органического вещества навоза, или же обычная у нас (до сих пор) постановка опытов, при которой в навозе давалось гораздо больше (иногда в 10 раз!) питательных веществ, чем в минеральных удобрениях, заставляла отнести за счет органического вещества и то влияние, какое на деле имеют азот, фосфор, калий и кальций навоза.

К тому, что было нами сказано о датских опытах в 1927 г., мы теперь (в 1936 г.) хотели бы добавить некоторые соображения как о самих опытах, так и о некоторых вызванных ими или независимо от них заложенных, но подобных им исследованиях.

Некоторыми авторами было высказано, будто датские опыты не дали ничего нового и результат их заранее мог быть предвиден, так как из-

вестно, что азот навоза плохо усвояем (25—30% по сравнению с азотом селитры), и потому неправильно давать равные количества азота в навозе и в селитре. В этом возражении содержится следующего рода погрешность: малая усвояемость азота навоза была известна только из краткосрочных опытов, а сколько этого азота поступит в растения через 25—30 лет, вовсе не было известно (выше было объяснено, почему ротамстедские опыты не годятся для такого учета); поэтому результат данных опытов (50% усвоения азота навоза через 28 лет) является новым.

Так как такая неполная усвояемость азота (даже при большой продолжительности опыта) не позволяет учесть влияния органического вещества навоза на высоту урожаев при постановке опытов по датскому типу, то небезынтересно было бы проведение опытов при выравнивании не общего количества азота навоза, а только усвояемой его части с количеством азота в минеральных удобрениях.

Из этой мысли исходил профессор Леммерман при постановке своих опытов в 1932—1933 гг.[14*]; когда он давал в минеральных удобрениях лишь $^1/_3$ того количества азота, какое содержал навоз (что, конечно, правильно только для краткосрочных опытов). Все же при этой постановке достигнуто было только равенство урожая, но никакого преимущества на стороне органического вещества нельзя было констатировать.

В нашей статье 1927 г. в «Сельскохозяйственной жизни» было высказано предположение о возможности учесть роль органического вещества еще и иным путем, чем сравнение действия навоза с минеральными удобрениями,— это внесение органического вещества в такой форме, чтобы оно не содержало азота и других питательных веществ, кроме тех, какие уже имеются в почве; в качестве такого приема нами был предложен высев на зеленое удобрение растений, неспособных фиксировать азот воздуха, как горчица, гречиха или овес. Но на этом пути тоже лежит немало препятствий; вот пример, о котором я узнал от профессора Крюгера при посещении опытной станции в Бернбурге: в одном и том же севообороте сравниваются три случая — после уборки ржи культивируется на зеленое удобрение или горчица, или хмелевидная люцерна (подсеваемая с весны), или ничего не высевается (контроль). Результат: в течение десяти лет хмелевидная люцерна давала плюс, а горчица — минус. Следовательно, или органическое вещество было бесполезно, или его положительное действие перекрывалось отрицательным действием горчицы, переводившей азот нитратов в азот белков, которые недостаточно быстро разлагались (или, по Ваксману, перманентно регенерировались микроорганизмами благодаря углеводам, накопленным горчицей).

Как же найти выход из этого затруднения?

Нам кажется, что в известной мере выход должен быть найден в следующем примере: после длительного ведения такого опыта необходимо настолько обильно удобрить все делянки селитрой, чтобы азота заведомо

[14*] Lemmermann. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde.

было везде достаточно, и тогда наблюдать, будет ли какой-либо плюс в урожае на делянках, получавших в течение ряда лет органическое вещество при запахивании горчицы на зеленое удобрение.

Изложенные здесь соображения были приняты во внимание при закладке опытов по данному вопросу на Долгопрудном опытном поле НИУИФ.

Предварительный опыт на эту тему по предложению автора заложен был в 1928 г., на малых делянках (из-за недостатка площади), причем только с двумя растениями — картофелем и свеклой, которые чередовались между собой. Здесь на почве старой культуры результат был вполне подобен полученному в Дании. Затем в 1931 г. был заложен новый опыт на почве, недавно разделанной из-под леса, в четырехпольном севообороте, притом в двух вариантах, именно — в одном случае применен тот же норфолькский севооборот, как и в датских опытах, а во втором варианте клевер исключен, а взамен того испытывается влияние небобового (овес), запахиваемого на зеленое удобрение.

Хотя главное значение подобного рода опыты приобретают только после значительного ряда лет, когда суммирующиеся эффекты от последействия навозного удобрения достигнут предельной высоты, но все же небезынтересно наблюдать, что и на суглинке Долгопрудного опытного поля уже намечаются результаты, в основе сходные с датскими.

Что касается второго варианта, то первоначально наблюдается, как и в Бернбурге, неблагоприятное влияние запашки на зеленое удобрение небобового растения, которое в следующие годы выравнивается. Предполагалось, что зеленая масса овса разложится настолько быстро, чтобы отдать свой азот следующей затем ржи, для чего имеется целый год, однако оказалось, что разложение зеленой массы овса на тяжелом суглинке Долгопрудного опытного поля идет медленно, и на первом растении вместо положительного получается отрицательный эффект от запашки органической массы.

Но, конечно, этот опыт должен быть продлен на значительный срок; в будущем возможно на создавшемся многолетнем опытном фоне уравнять условия азотистого питания обильным внесением удобрений и посмотреть, будет ли заметно какое-либо действие органического вещества или нет.

Нашу статью 1930 г. о датских опытах мы закончили пожеланием, чтобы такие опыты были повторены на разных почвенных типах; теперь мы можем это пожелание высказать с большей конкретностью, а именно такие опыты наиболее желательно поставить на малокультурных, бедных почвах со скудным поглощающим комплексом — именно на них внесение органического вещества как средства для повышения поглотительной способности таких почв имеет наибольший шанс выявить положительные результаты. Мы видим, что на богатом суглинке Ротамстеда, давно находящемся в культуре, возможно было получение высоких урожаев без внесения органического вещества в течение столь длительного опыта, которое, кроме Англии, нигде не встречается (с 1843 г.).

Если датские опыты, начатые в 90-х годах, были проведены на двух бедных от природы почвенных разностях подзолистой зоны (суглинке и супеси), то все-таки эти почвы были раньше в культуре, многократно удобрялись навозом и, по-видимому, когда-то известковались; в них, вероятно, уже был в достаточной мере воссоздан предыдущей культурой поглощающий комплекс, разрушающийся в процессе подзолообразования.

Поэтому при подобных опытах следует перенести внимание на подзолистые почвы, еще недостаточно заправленные навозом, недостаточно «окультуренные». Центр тяжести этой окультуренности лежит, видимо, в воздействии на поглощающий комплекс — характерные данные в этом отношении мы находим в статье Францессона («Химизация социалистического земледелия», № 11, 1934). Эти данные показывают, как систематическое унавоживание подзолистых почв повышает количество поглощенного кальция и других оснований, как постепенно снижается количество поглощенного водорода и общая емкость поглощения повышается. Но все же это не тот опыт сравнения методов «окультуривания почвы» путем внесения навоза, с одной стороны, и путем внесения минеральных удобрений (включая и известь) — с другой, какой желательно иметь, так как при этом имеется наибольший шанс выяснить не роль навоза вообще (что достаточно ясно), но специфическую роль органического вещества как средства повышения емкости поглощения и изменения физических свойств подзолистых почв.

НЕПРИЗНАННЫЙ СТАССФУРТ *

К ВОПРОСУ О ЗНАЧЕНИИ ЗОЛЫ КАК УДОБРЕНИЯ

Распространение минеральных удобрений в России задерживалось до сих пор больше всего тем обстоятельством, что Россия была страной низких цен на хлеб и высоких цен на минеральные удобрения; она вывозила хлеб на Запад, удобрения же должны были двигаться на восток, в сторону дешевеющего хлеба; ясно, что это движение не могло быть глубоко идущим и обильным.

Проникновение минеральных удобрений с ясностью подчинялось своего рода закону зональности, причем восточная Россия оказывалась в положении самой отдаленной зоны «Уединенного государства» Тюнена [18], в западных же губерниях цены на хлеб были выше, а на удобрения — ниже; поэтому там началось употребление минеральных удобрений в заметных размерах; в остальной же России их применение ограничивалось лишь некоторыми культурами, способными оплатить привозные (и потому более дорогие, чем на Западе) удобрения.

Не только калийные соли и селитра, но и суперфосфат двигался с запада на восток навстречу вывозимому хлебу; если даже суперфосфат и производился в России, то преимущественно на западе (Рига, Петроград, Винница и т. д.) и преимущественно из привозных фосфоритов и колчеданов. Только незадолго перед войной (1914—1918 гг.) обнаружилось стремление пробудить встречное течение путем создания суперфосфатной промышленности в Волжско-Камском районе, чтобы дать дешевый суперфосфат востоку, соответственно более низкому уровню цен на продукты сельского хозяйства. Но казалось, что это возможно лишь для суперфосфата (благодаря костромским и вятским фосфоритам и уральскому колчедану), в отношении же азотистых и калийных удобрений мы обречены всегда зависеть от ввоза их с Запада.

Однако война, вызвавшая на долгое время закрытие западной границы и изменившая соотношение цен для ряда продуктов, заставила пересмотреть и переоценить одни положения, еще сильнее подчеркнуть другие, касающиеся сравнительного значения различных источников удобрений, доступных для нас.

В частности, война прекратила ввоз из Германии калийных солей и тем поставила на очередь вопрос об отыскании иных источников калия для сельского хозяйства и химической промышленности.

---

* Печатается по тексту, опубликованному в Юбилейном сборнике «Статьи и научные работы Д. Н. Прянишникова», т. 1, 1927, стр. 306. Впервые опубликовано отдельной брошюрой. М., 1919.

Если верно, что на нормальных почвах даже «калийные» растения, как свекла и картофель, умеют обеспечить себя калием благодаря хорошей усвояющей способности (именно в отношении калия резко выраженной) и реагируют лучше на фосфор и азот, чем на калий, то ведь есть почвы, на которых никакая усвояющая способность не поможет, ибо они слишком бедны калием,— таковы почвы сильно оподзоленные, песчаные, торфяные; на таких почвах калий может оказаться в первом минимуме (что и обнаружилось для картофеля в опытах под Москвой, в районе песчаных почв). Кроме того, есть растения, способные и на другого рода почвах хорошо оплачивать калийное удобрение,— это лен и клевер. Поэтому никак нельзя сказать, чтобы прекращение ввоза калийных солей из Стассфурта было для нас безразлично; нет, оно заставляет нас поискать Стассфурт поближе, около нас самих. И ведь он имеется, наш непризнанный Стассфурт, наш, хотя и нерыночный, почти всегда пренебрегаемый, но везде доступный источник калия — это зола, которой мы гораздо богаче, чем Запад, потому что мы привыкли нашу долгую зиму проводить в хорошо натопленных комнатах (в отличие от Запада), да и самим положением нашей страны мы вынуждены сжигать на алтаре нашей северной культуры громаднейшие количества древесного топлива; но мы не привыкли использовать золу. Зола часто содержит не меньше калия, чем каинит, который стоил в Москве почти в 4 раза дороже, чем в Стассфурте (45 коп. против 12 коп.); и сколько бы мы ни заменяли каинит 30%-ной или 40%-ной калийной солью (как это с условной верностью советуют нам представители Стассфурта), все-таки, базируясь на этом источнике, мы всегда будем в невыгодном положении, имея в лучшем случае втрое более дорогой калий, чем имеет немецкий хозяин, да еще при более дешевом зерне, чем в Германии. Вот почему не только для военного, но и для мирного времени свое решение калийного вопроса имело бы большое значение для России.

Прежде всего надо правильно использовать золу, значение которой остается не оцененным ни с количественной, ни с качественной стороны.

Относительно количества золы точных цифр не имеется; но, чтобы получить понятие хотя бы о порядке величин, приведем следующие соображения. По приблизительным подсчетам, в Европейской России сжигается ежегодно около 35 млн. куб. сажен дров, весящих около 175 млн. т; считая выход золы в 0,3%, имеем около 600 тыс. т золы. Кроме того, часть России отапливается соломой и кизяком, а стебли подсолнечника и гречихи дают золу для поташных заводов, существование которых не всегда можно оправдывать **. Юг сжигает меньше соломы, чем север дров, но не нужно забывать, что солома дает золы в 10—15 раз больше, чем дрова. (Солома оставляет от 3,5 до 6,1% золы, смотря по роду растения.)

** Мы разумеем заводы, вырабатывающие поташ из золы стеблей подсолнечника, гречихи и пр. для экспорта.

Что касается количества золы, доставляемой соломой, то, по подсчетам, приведенным в «Руководстве по товароведению», изданном под редакцией профессора П. П. Петрова (ч. I, Москва, 1913), сжигаемая в топках солома заменяет в Европейской России такое количество дров, какое отвечает $^1/_5$ общей массы сжигаемого древесного топлива, если примем, что солома дает лишь в 10 раз больше золы, чем дрова, то это будет значить, что золы соломы получается вдвое больше, чем золы древесной (т. е. 1 млн. 200 тыс. т), а количество всей золы для Европейской России окажется равным 1 млн. 750 тыс. т. Если же (по другим подсчетам) принять, что солома заменяет лишь $^1/_{10}$ дровяного топлива, то получим равные количества золы от обоих видов топлива, а общую сумму равной 1 млн. 200 тыс. т ежегодно. Как бы ни считать [3*], мы имеем дело с неиспользованными источниками калия громадного значения; достаточно напомнить, что мы ввозили из Германии всего лишь около 84 тыс. т калийных солей. Отсюда ясно, что пока для нас вопрос о правильном использовании золы важнее вопроса о ввозе стассфуртских солей из Германии.

Если скажут, что зола беднее ввозимых солей калием, то, во-первых, разница в количестве так велика, что она способна выравнить даже большую разницу в качестве, а во-вторых, не нужно забывать, что зола ржаной соломы по содержанию калия (11—19%) выдержит конкуренцию с каинитом, зола березовых дров (9—10%) — с карналлитом, а зола гречишной соломы — это уже тип концентрированных калийных солей, так как она содержит около 25% калия.

Это утверждение наше для названных видов золы мы относим не только к оплате калия урожаем, но и к возможному рыночному значению названных видов золы. Конечно, низкопроцентная зола сосны и ели с 6% K_2O может заменять каинит только при внесении в двойном или тройном количестве и только на месте (в хозяйстве), а не на рынке; но так как эта зола получается преимущественно в северных хозяйствах, то ей не для чего и поступать на рынок — ее нужно применять на местах. Другое дело — зола разных видов соломы: она может стать рыночным продуктом, заменяющим все виды калийных удобрений. Ведь нет никаких оснований ценить калий в стассфуртских солях дороже, чем калий в золе (о щелочности будет речь ниже — она идет чаще на пользу, чем во вред). А между тем до войны платили в Москве за каинит (равноценный золе ржаной соломы) около 3 коп. за 1 кг, а за 30%-ную соль — $5^1/_4$ коп.; ведь по этому масштабу следовало бы за гречишную золу платить 4 коп. за кг, а еще правильнее было бы поступать обратно: взять за мерку стоимость золы (включая сбор, доставку и пр.) и по ней оценивать привозные калийные соли; тогда бы не стассфуртский синдикат нам диктовал цены, а мы ему.

[3*] Еще более высокие цифры дает Я. Я. Никитинский (см. № 4 журн. «Проблемы Великой России» за 1916 г.).

Нередко считают недостатком золы ее щелочность; этот вопрос требует полного пересмотра, и мы думаем, что опасения с этой стороны в громадном большинстве случаев являются напрасными — щелочность может быть вызвана только большими количествами золы (совершенно ненужными с точки зрения внесения калия); если же на известных почвах (южной и юго-восточной России) она может быть вызвана и меньшими количествами золы, то эти почвы обычно не нуждаются в калийном удобрении.

Почвы же северной России, более или менее оподзоленные или богатые кислым перегноем, будут только «благодарны» и за щелочность золы, и за наличность в ней соединений кальция, которыми они бедны (не говорим пока еще о фосфате золы). На подобных почвах указанные свойства золы будут иметь благоприятное косвенное действие, и этим, очевидно, нужно объяснить те случаи, когда хозяева наблюдали полезный эффект больших количеств золы (т. е. 15—30 ц, что является чрезмерным по количеству калия).

Мы не раз пытались в вегетационных опытах найти верхний предел полезного действия золы или обнаружить вред больших количеств ее, по пока нам это еще не удалось: те количества, от которых мы ожидали понижения урожая, вызывали все же его повышение; вот пример для двух подзолистых почв Московской губернии из наших опытов в 1906 г.:

	Без золы	5 ц	10 ц	20 ц (по расчету * на гектар)
Урожай (в г на сосуд):				
1) проса	1,77	6,92	14,65	22,30
2) гречихи	5,50	12,60	25,55	25,50

* Конечно, этот пересчет условен, так как в сосудах зола весьма совершенно перемешивается с толщей почвы в 4—5 вершков, чего в поле обычно не делается; кроме того, в сосудах влажность искусственно поддерживается на оптимальном уровне.

В следующие годы испытывались еще бóльшие количества золы; вот опыт 1911 г. с почвой, присланной из Батищева Энгельгардтовской опытной станцией, давший еще более характерный результат:

	Без удобрения	3 ц	6 ц	12 ц	24 ц	48 ц золы на гектар
Урожай (в г на сосуд)	22,5	30,6	35,5	40,1	42,9	57,3

Ясно, что здесь играло роль полезное косвенное действие золы (ни одно калийное удобрение, ни прибавление к нему фосфатов не давали подобного эффекта); вероятно, зола подействовала еще «оздоровляющим» образом на химический режим почвы, устранив кислотность, дав толчок нитрификации.

Если в поле, быть может, легче достигнуть верхнего предела (начало вредных доз), то все же ясно, что между дозами золы, рассчитанными по калию, и дозами, вредными по щелочности для севера, в большинстве случаев будет лежать большой промежуток (лишь для песчаных почв нужна в этом смысле большая осторожность и точное следование указаниям местного полевого опыта).

Что касается черноземной полосы, то, во-первых, здесь почвы обычно содержат достаточно калия, и чаще золу соломы отсюда следовало бы отправлять на север, чем применять на месте; а во-вторых, и в черноземных почвах способность регулировать реакцию раствора и смягчить щелочность выше, чем обычно думают (вероятно, вследствие частичного образования гуминовокислого калия и углекислого кальция на счет поташа золы и гуматов извести). По крайней мере у нас в вегетационных опытах попытка констатировать вредное действие избытка золы не удалась и для почвы Сумской опытной станции, как видно из следующих цифр одного опыта 1915 г. (в г на сосуд):

Без золы	Зола по расчету на десятину			Полное удобрение
	15 ц	30 ц	60 ц	
9,6	17,1	20,1	27,3	32,5

Мы не хотели, чтобы на основании этих цифр сделано было заключение о полезности столь высоких доз золы и в поле; мы только указываем, что иногда черноземную почву (в случае достаточной влажности) не так-то легко испортить золой, даже внося ее в количествах, ни с чем не сообразных.

Наибольшая роль должна принадлежать золе, конечно, на почвах нечерноземных; но могут быть случаи, когда и в черноземной полосе умеренные дозы золы будут полезны; например, в брошюре И. В. Якушкина «О покупных удобрениях и золе» упоминается случай полезного действия золы на урожай ржи в Полтавской губернии и приводится расчет, согласно которому золы, получаемой в селах, хватило бы на площадь бóльшую, чем удобряемая навозом в этой губернии, если вносить по 6 ц золы на гектар. Вероятно, и здесь играет роль не только (или не столько) содержание калия в золе, сколько содержание фосфора и косвенное влияние на превращение азотистых веществ почвы.

В районах засушливых и солонцеватых, понятно, зола может легче вредить своей щелочностью; но, как сказано, этого рода почвы обычно и не нуждаются в калийных удобрениях. Единственный, кажется, случай, когда потребность в калийных солях и чувствительность к щелочности могут совпадать, это почвы песчаные; здесь необходим местный опыт, и, где окажется нужным, придется, быть может, предварительно смешивать золу с торфом; это устранит щелочность золы и поможет одновременно мобилизовать азот торфа. Однако и для этих почв опасения щелочности, видимо, преувеличены; так, профессор Я. Я. Никитинский на основании

своего опыта сообщил, что никогда не наблюдал вреда от золы на песчаных и супесчаных, вообще легких почвах, где она дает весьма удовлетворительные результаты при распределении в гнезда или «под корень», например, для картофеля, кормовых: свеклы, моркови и пр.

Во всяком случае здесь, как и всегда, нужно избегать огульных заключений и, чтобы избежать недоразумений в оценке действия золы и разобраться в указаниях относительно количеств, в каких ее следует вносить, необходимо различать следующие два рода случаев:

I. Главная роль должна принадлежать применению золы в небольших количествах в качестве калийного удобрения; здесь нужно руководствоваться содержанием калия: например, давать 3—5 ц золы ржаной соломы или вдвое меньше гречишной, или вдвое более золы сосновых или еловых дров; применять же 15 или 30 ц свежей золы в качестве калийного удобрения неэкономично (в сухих климатах и на песчаных почвах может быть и вредным, но прежде всего ненужным).

II. Применение золы в больших количествах (15—30 ц) имеет смысл лишь тогда, когда, при наличности избыточной золы, главной целью является уже не обогащение калием, а или 1) обогащение фосфорной кислотой (которой зола содержит процентно значительно меньше, чем калия), или же 2) полезное воздействие на почву по типу косвенных удобрений. Все это может иметь место особенно в нечерноземной полосе России, где обильно увлажняемые почвы бедны основаниями и склонны к кислой реакции; углекислые щелочи золы не только устраняют кислотность таких почв, но и могут способствовать повышению азотистого питания растений, содействуя переходу азота перегнойных веществ в форму аммиака и нитратов. Это совершенно особое назначение больших доз золы может быть изучаемо отдельно, и оно не имеет ничего общего с применением золы в качестве калийного удобрения, на что мы именно и хотели бы обратить внимание.

Нужно еще отметить следующее обстоятельство: в то время как по содержанию и по растворимости калия зола во многих случаях не уступает стассфуртским солям (а отчасти их превосходит), по значению сопутствующих соединений она всегда превосходит эти соли, потому что их примеси имеют отрицательное значение, а сопутствующие углекислому калию составные части золы имеют положительное значение.

Хлористый натрий и подобные ему ненужные соли в каините и других продуктах напрасно вытесняют известь из почвы, а наши северные почвы и так ею бедны; а например, зола березовых дров, содержащая около 30% окиси кальция, как раз способствует пополнению этого недостатка. Мало того, зола и дров и соломы содержит фосфорную кислоту (около 2,5—3%); поэтому, внося 5—6 ц березовой золы, мы, кроме калия (50 кг K_2O), вносим еще 15 кг фосфорной кислоты, притом в форме, в высокой степени усвояемой; а так как фосфорная кислота находится в минимуме в большинстве русских почв, то значение этого обстоятельства ясно само собой. (Поэтому же выщелоченная зола, которую можно

применять в повышенных дозах, является отличным фосфорнокислым удобрением.)

Таким образом, золу нужно ценить выше, чем калийные соли с соответственным содержанием K_2O; это уже высказывалось нами однажды в статье, посвященной золе («Вестник сельского хозяйства», 1904), с эпиграфом из известной сказки: «Cendrillon avec ses mechants habits était plus belle que soeurs qui étaient vetues magnifiquement» — [Золушка в своей плохой одежде была красивее своих сестер, одетых великолепно].

Обстоятельства военного времени настоятельно заставили позаботиться об использовании золы (кроме сельского хозяйства, поташ нужен и военному ведомству). «Необходимо тщательно собирать золу в деревнях и поместьях, утилизируя ее на местах же. Необходимо также организовать собирание ее на заводах и фабриках, работающих на древесном топливе — в топках паровых котлов и иных аппаратов, в печах (например, кирпичеобжигательных), а также в городских поселениях. Выбрасывать древесную золу без утилизации сейчас, по нашему мнению, преступно» [4*].

Нам кажется, что для проведения в сознание населения правильного представления о значении золы было бы полезно прежде всего давать за нее настоящую цену; вспомним, как в истории распространения навозного удобрения в черноземной России играла роль покупка навоза попудно, например, свекловичными хозяйствами. Крестьяне, постепенно убеждаясь в значении навозного удобрения, с годами переставали его продавать и начинали применять у себя. В скупке золы могли бы сыграть существенную роль *сельские кооперативы* не только установлением цены на чистую золу того или иного вида топлива, но и организацией сбора; для них легче и контроль, и введение таких устройств, которые исключали бы риск пожара от горячей золы и пр.

При этом мы резко различали бы задачу для южной и северной России: на севере зола должна применяться преимущественно на местах; превращение в рыночный товар (например, для березовой золы) имеет здесь значение отчасти как тактическая мера, но если бы оказалось возможным добиться применения золы каждым крестьянином, то цель была бы этим достигнута: клевер и лен особенно хорошо оплатят калий золы, а ее косвенное действие и фосфор оплатят все культуры в совокупности.

Другое дело юг России, не нуждающийся в калийном удобрении и — да не удивится читатель — вывозящий калий даже за границу (в виде поташа): до войны (1914—1918 гг.), например, поташные заводы Кубанской области, работающие на золе подсолнечных стеблей, вывозили в Западную Европу по 5 тыс. тонн поташа в год! Какой же смысл одной рукой вывозить поташ за границу, а другой — покупать калийные соли в Германии? Почему зола подсолнечная, гречишная и ржаносоломенная не могут прямо (без переработки) идти на удобрение почв северной

[4*] Я. Я. Никитинский, ранее цитированная работа.

России? Ведь их туда провезти ближе, чем стассфуртские соли, а они, как сказано, вполне их заменяют.

Если северная Россия платила по 3 коп. за 1 кг каинита, она должна купить по хорошей цене и ржано-соломенную золу; если она платила по 5 коп. за 1 кг 30%-ной соли, она также должна платить за гречишную золу вдвое больше, чем за ржаносоломенную; если калийные соли можно было везти из Стассфурта, то и ценную золу южного топлива (соломы) можно везти из черноземной полосы в нечерноземную, не перерабатывая ее в поташ.

Когда говорят, что зола является нерыночным продуктом, то нередко смешивают воедино два фактора этой «нерыночности»: 1) низкопроцентность; но зола стеблей гречихи, подсолнечника и ржаной соломы вовсе не низкопроцентна, зола березы и то равна карналлиту, и только зола хвойных содержит вдвое менее калия, чем каинит, и в полтора раза менее, чем карналлит; 2) распыленность в пространстве; но последнее обстоятельство для севера есть плюс, а не минус (применять предстоит на местах), а для юга есть опыт поташных заводов; если они могли получать чистую подсолнечную, гречишную, ржаносоломенную золу, то почему не смогут собирать значительные партии однородной золы сельские кооперативы?

А более крупные партии уже могут оцениваться по содержанию калия, становиться рыночным продуктом и продаваться, например, кооперативам тех губерний, которые предъявляют спрос на калийные удобрения.

Итак, у нас есть свой Стассфурт, только добывать из него калийные соли нужно не путем глубокого бурения земных недр, а путем углубленной организационной работы в недрах деревни.

ЛЮПИН, ФОСФОРИТ И ЗОЛА КАК ЗАМЕНА НАВОЗА НА ТОЩИХ ЗЕМЛЯХ *

Уменьшение количества скота обострило вопрос о недостатке навоза, о способах его замещения; особый интерес представляет этот вопрос для нечерноземной полосы, так как здесь неизбежным следствием недостатка навоза являются недороды и недосевы.

В черноземной полосе вопрос об удобрении упрощается тем, что ни в азоте, ни в органическом веществе чернозем пока не испытывает недостатка; так, например, по данным Харьковской опытной станции **, действие навоза сводится главным образом к его фосфору, поэтому внесение одного только суперфосфата почти заменяет собой навоз:

	Без удобрения	Суперфосфат	Селитра	Навоз
Урожай ржи (в ц)	12,9	21,5	12,5	23,0

Точно так же, по данным опытных станций, тяготеющих к Полтаве, действие суперфосфата и томасова шлака, внесенных поодиночке, оказывается очень значительным. «Все виды черноземов Полтавщины прежде всего нуждаются в фосфорнокислом удобрении. Прибавки от внесения фосфора в среднем равняются 4,8 ц на гектар 3*.

На выщелоченных черноземах Тульской губернии даже фосфоритная мука, внесенная в тройном количестве против суперфосфата (считая на фосфор), способна дать приросты урожаев ржи в 6 ц, т. е. тоже приближаться по действию к навозу (Лебедянцев).

Но в нечерноземной полосе почвы нуждаются одновременно в азоте и фосфоре, а часто им не хватает и органического вещества, которое не только является постоянным источником азотистой пищи растения, но еще имеет значение в деле улучшения физических свойств почвы.

До дешевых азотистых удобрений мы, очевидно, не скоро доживем, ибо наша химическая промышленность не может нам пока дать даже более простого продукта — суперфосфата; поэтому азот навоза надо суметь заменить чем-то более дешевым, чем селитра и аммиачные соли 4*.

---

* Печатается с сокращениями по тексту, опубликованному в Юбилейном сборнике «Статьи и научные работы Д. Н. Прянишникова, т. 1, 1927, стр. 313. Впервые опубликовано в 1919 г. кн. изд-вом Петровской с.-х. академии.

** Рождественский, Заславский. Главнейшие выводы из полевых опытов 1913—1917 гг. Харьков, 1922.

3* Сазанов. Труды Полтавской опытной станции, № 35, 1922.

4* Существует неправильное представление о якобы недостаточном действии селитры на наших северных почвах; здесь нужно различать следующие два случая:

Приходится поневоле вспомнить о зеленом удобрении — оно дает азот и органическое вещество, а вместе с фосфором и калием способно заменить навоз. Есть во многих случаях и другая возможность — это использовать торф, также являющийся источником азота и органического вещества, но в форме закрепленной, трудно разлагающейся, нередко избыточно кислотной; можно компостировать торф с фосфоритом для подготовки последнего, но еще важнее проводить торф через скотный двор, давая торфяную подстилку под солому, не только для того, чтобы полнее поглощать жижу, но и чтобы инфицировать торф массой бактерий, вызвать мобилизацию азота торфа и сильно увеличить количество навоза, без понижения действия единицы веса такого навоза, как азотистого удобрения. Так и поступают крестьяне на севере (например, для Шенкурского уезда применение торфа в подстилку является правилом, которое только ленивый не соблюдает).

Зеленое удобрение у нас долго не приобретало сколько-нибудь заметного значения; причины этого имеют частью общий, частью наш местный характер. В качестве общего возражения против зеленого удобрения выдвигается обычно следующее соображение: выгоднее зеленую массу вместо непосредственного запахивания на удобрение скормить животным и внести в почву навоз, от них полученный; тогда, не теряя ничего (или почти ничего) в веществах, служащих пищей растениям, мы выигрываем все ценные вещества, питающие организм животного. При всей своей справедливости в основе это общее положение сохраняет силу только при соблюдении некоторых условий, а именно: 1) если есть, кому скармливать, ибо при падении скотоводства могут быть случаи несоответствия в количестве скота, кормов и потребного навоза, 2) если есть, на ком возить громоздкую массу навоза на отдаленные поля, и 3) если есть, что скормить, ибо не всякая зеленая масса удобно скармливается, и как раз растения, способные расти на самых бедных песчаных почвах и улучшать их, в корм малопригодны.

Как раз в последние годы бывали случаи, когда даже имеющийся навоз не вывозился из-за дороговизны рабочего дня лошади или по

---

1) под овес и картофель селитра оказывала в опытах Московского земства действие не меньшее, чем в Германии, но опыты ставились со слишком малыми дозами селитры, 60—100 кг вместо 250—330 кг, применяемых в Германии; поэтому суммарный прирост был меньше, но на один кг селитры не менее, чем в Германии. Другое дело вопрос о ценах на сельскохозяйственные продукты у нас и в Германии: в Германии азотистые удобрения вдвое дешевле, чем зерно, а у нас в 1908 г. (год опытов Московского земства) они стоили втрое дороже, чем рожь; вот одна из причин ходячего представления о «неудачах» опытов с селитрой у нас; 2) при опытах под озимую рожь, действительно, наблюдалось неполное действие селитры в сырые годы на оподзоленных землях, не заправленных достаточно навозом. Но отсюда неправильно делать вывод, что такие земли нуждаются во внесении органического вещества, а не азота, ибо они нуждаются и в том и в другом одновременно — одно органическое вещество без азота не дало бы хороших урожаев (к счастью, в природе не встречаются безазотистые перегнойные вещества), а потому всегда внесение органического вещества обеспечивает растениям снабжение и азотистой пищей.

другим соображениям[5*], в других случаях мыслимы избытки кормов благодаря депекорации[6*], и тогда может встречаться, особенно на отдаленных полях, запахивание даже таких растений (например, клевер второго укоса), которые в нормальное время запахивать никто не станет.

Местные обстоятельства, не благоприятствовавшие применению зеленого удобрения, были следующие: наше земледелие тяготело к югу, а на юге черноземные почвы богаты и без того азотом и органическим веществом и бедны влагой, а зеленое удобрение уменьшает количество находящейся в минимуме влаги и прибавляет то, что и без того имеется. На севере, где азот и органическое вещество в минимуме и влаги довольно, зеленое удобрение было бы уместно, но тепла мало, осень коротка, потому гораздо труднее использовать метод «вставочных культур», так широко использованных Германией. Так как там нет паровых полей, то высевают люпин на зеленое удобрение пожнивно, после уборки хлебов; а в сентябре-октябре цветущую массу запахивают для удобрения следующих растений; или же прибегают к подсеву хмелевидной люцерны или сераделлы под рожь, с тем чтобы удобрить почву под сахарную свекловицу; даже люпин в Германии подсевают иногда под озимую рожь. У нас таких возможностей меньше (да еще мы были и недостаточно изобретательны в этом отношении); но зато можем прибегать к посеву растений на зеленое удобрение в пару перед озимым, так как незанятыми парами мы пока еще богаты, а значит, богаты и потоками неиспользованной солнечной энергии, которую можно направить на связывание азота воздуха с помощью азотособирателей в целях удобрения той самой площади, на которой мы их будем выращивать.

Большое значение имеет выбор растения для зеленого удобрения. На Западе излюбленным растением для этой цели является люпин, обладающий выдающейся способностью расти на бедных песчаных почвах, что объясняется, во-первых, тем, что он является энергичным азотособирателем, способным накопить больше азота из воздуха, чем многие другие бобовые растения; во-вторых, он обладает весьма высокой растворяющей способностью корневой системы по отношению к минеральным веществам почвы. Это известно было в общей форме из хозяйственно-

---

[5*] Зеленое удобрение может представлять известный интерес, так как при нем не только избегается дорогая вывозка, но оно и используется быстрее, чем навоз.

[6*] Термин «депекорация» («обесскотинение») был применен Ламблем для обозначения процесса уменьшения скота, по мнению этого экономиста, неизбежно наступающего по мере увеличения числа людей на единицу площади; пищевые растения должны вытеснять, по Ламблю, кормовые, человек — животных, подобно тому, как это произошло уже в Китае и Японии. Оставляя в стороне вопрос о том, почему Европа не идет по пути Китая и Японии, отметим только, что вызванная войной (1914—1918 гг.) и последовавшей за ней экономической политикой наша депекорация ничего не имеет общего с депекорацией Ламбля, кроме самого факта сокращения количества скота.

го опыта, а более точно (по отношению к фосфатам) было показано нашими опытами в песчаных культурах — люпин так хорошо использует фосфорит, как ни одно другое растение полевой культуры; это позволяет люпину находить пищу в почве там, где для других растений ее мало, а из удобрений он способен использовать самые дешевые малорастворимые фосфаты; в-третьих, к этому присоединяется еще то обстоятельство, что люпин имеет глубоко идущий стержневой корень, способный использовать подпочву, перекачивать из нее питательные вещества в верхние слои: мало того, по следам корней люпина по их отмирании и другие растения более способны проникать в подпочву, чем до культуры люпина.

В 1840—1850 гг. люпин стал распространяться в Германии в качестве кормового растения и заслужил наименование «благословения песчаных почв»; это был период развития тонкорунного овцеводства, и люпин давал возможность привлечь к производству шерсти и мяса такие хозяйства, которые раньше страдали от бескормицы благодаря бесплодию бедных почв; даже оценка песчаных почв поднялась вследствие того, что нетребовательная овца не смущается горьким вкусом люпинового сена; эти почвы таксаторы стали ценить не в $^1/_5$, как раньше, а в $^2/_5$ от оценки лучших почв; но вскоре последовало разочарование в люпине как кормовом растении — при скармливании больших количеств овцы стали болеть люпинозом, пришлось разжаловать люпин из кормового растения в другой ранг — сделать его специфическим средством для улучшения бедных почв путем запашки на зеленое удобрение [7*]. Этот метод (люпины + томасов шлак + каинит) систематично провел в 80-х годах Шульц-Люпиц, добившийся упорной культурой люпинов в течение 25 лет

[7*] Такой перевод растения из кормовых в удобрительное, конечно, экономически весьма неприятен; принимают, что азот в кормах оплачивается раза в три выше, чем азот в удобрении. Поэтому стремятся частично использовать люпин в целях кормления, именно его семена (содержащие втрое больше белков, чем хлебные зерна) подвергают различным операциям (вымачивание, пропаривание, действие щелочей) в целях обезгореченья, еще бóльший плюс получился бы, если бы белок семян люпина вместо скармливания животным мог быть прямо использован в пищу человеку. (Если предположить, что это означало бы экономически только втрое высшую оплату по сравнению со скармливанием животным, в итоге получилось бы в 9 раз более выгодное применение белка люпина против применения на зеленое удобрение.) В этом направлении в лаборатории автора проведены опыты извлечения белка из измельченных семян люпина с помощью слабой щелочи (0,1%) и последующего осаждения кислотой (или же извлечения раствора NaCl и осаждения при диализе); получаются хорошие выходы свободного от горечи белка. Если бы удалось пойти в этом направлении не только в лабораторном масштабе, а технически приготовляя белок из люпина, то для песчаных почв известных районов двухполье «люпин — картофель» обеспечивало бы в люпине тройное количество пищевого белка по сравнению с рожью, а в картофеле — тройное количество крахмала. Но пока проще обезгореченивать зерна люпина (запаривание горячей водой на ночь и отмывание холодной водой за день) и употреблять их для откорма свиней вместе с картофелем.

возможности на бедных ржаных почвах своего имения видеть хорошее развитие пшеницы [8*].

Основным результатом долгих исканий Шульца было то положение, что при культуре люпина на песчаных почвах можно добиться поднятия урожаев хлебов и картофеля, не внося ни навоза, ни азотистых удобрений, а заботясь только о чисто минеральном питании растений (K, P, Ca); вот каков был ход постепенного поднятия урожаев картофеля в хозяйстве Шульца (в ц/га):

1874—1876 гг.	1877—1879 гг.	1880—1882 гг.	1883—1885 гг.	1886—1888 гг.
86	115	130	166	174

Но теперь, когда смысл явления известен, возможно более быстрое поднятие урожаев хлебов и картофеля, и даже при неоднократном запахивании хорошо развившегося люпина нередко наблюдается удвоение урожая непосредственно следующего за ним растения.

Посмотрим, сколько люпин может дать почве азота. Вагнер считает, что при достаточном развитии люпин дает в надземных частях около 45 ц сухого вещества на гектар и в нем около 150 кг азота [9*] (при пышном росте в 1,5 раза больше); для сравнения напомним, что хорошее удобрение селитрой (3 ц на гектар) содержит лишь около 45 кг азота, а 150 кг азота вносится в 30 т навоза среднего состава. Таким образом, люпин является обильным источником азота, давая его столько же, как навоз, но действие его с этой стороны более энергично (разложение идет быстрее); по Вагнеру, если действие селитры в первый год принять за 100, то такое же количество азота в зеленой массе дает 65% (то же в жмыхе, кровяной, роговой муке), в навозе же — 25%; поэтому действие навоза и растягивается на более длительный период по сравнению с зеленым удобрением.

[8*] «Странным казалось хорошее состояние хлебов, пшеницы в особенности, когда тут же рядом на дороге, по которой мы шли, под ногами сыпался песок» (см. «Экскурсионные заметки»). Кроме люпина, каинита и шлака, здесь сыграла еще роль и «мергельная яма» (см. там же).

[9*] Это количество не отвечает точно количеству азота, взятого из воздуха, так как корневые остатки тоже содержат много азота; но, с другой стороны, люпин может взять часть азота и из почвы. Чтобы подойти к вопросу о том, сколько азота бобовые берут именно из воздуха, А. Л. Яковлевым в работе, выполненной на тему, предложенную автором настоящей статьи («О зеленом удобрении», «Известия сельскохозяйственного института», 1900), был применен такой метод: рядом высевалось бобовое и небобовое, а разность в содержании азота между тем и другим должна была служить указанием на энергию усвоения азота на воздухе. К сожалению, холодное лето не позволило провести опыт с люпином (тогда имелись семена только желтого люпина), но для конских бобов обнаружилось накопление 270 кг азота на гектар, для вики — 205 кг, тогда как гречиха содержала около 85 кг, рис — около 65 кг азота; значит, 130—200 кг нужно считать взятыми из воздуха.

В России одним из пионеров в области люпинового удобрения был профессор П. В. Будрин; вот пример из сообщенных им данных [10*]

	По неудобренному пару	По люпину, в цвету запаханному на удобрение	После люпина, убранного зрелым	После горчицы, запаханной в цвету
Урожай озимой пшеницы (в ц)	6,5	11,2	10,7	6,1

Кроме того, профессор Будрин наблюдал в течение 20 лет хорошее развитие ржи и картофеля и получал высокие урожаи без навоза в таком двухлетнем севообороте: 1) картофель; 2) озимая рожь + пожнивный посев люпина на удобрение.

Позднее в Черниговской губернии (1914) при коллективных опытах, организованных земством на крестьянских полях, наблюдалось в большинстве случаев удвоение урожая ржи под влиянием люпинового удобрения (запахивание цветущего люпина, высеянного в пару); подобные же данные получены затем на Новозыбковской опытной станции. Можно сказать, что даже без внесения минеральных удобрений культура люпина в пару заменяла навоз; азот и органическое вещество запаханной массы — воздушного происхождения, что же касается минеральных веществ, то люпин, благодаря большой растворяющей способности корней и глубокому их проникновению, способен обходиться без минерального удобрения; в первые годы культуры при частом его повторении наступит потребность во внесении фосфатов и калийных солей, причем люпин будет довольствоваться самыми дешевыми фосфатами (фосфоритной мукой).

В качестве примера приведем следующие данные из отчета об опытах Черниговского земства:

Место испытания	Почва	Урожай зерна ржи (в ц/га)		
		без удобрения	по люпиновому удобрению	прибавка по люпину
В Городнянском уезде	Супесчаная	3,8	12,2	8,4
В Нежинском уезде, м. Верхневка	»	9,6	19,9	10,3
В Кролевецком уезде, с. Конятин	Песчаная	6,0	12,7	6,7
В Кролевецком уезде, х. Зайцевский	Легкий суглинок	9,0	20,5	11,5
В Новгород-Северском уезде, в Ромашкове	Суглинок	3,0	7,0	4,0
В Остерском уезде, с. Савино	Песчаная	4,3	9,4	5,1

Большой материал по люпиновому удобрению накоплен Новозыбковской опытной станцией; возьмем из него некоторые примеры.

[10*] См. его книгу «Частное земледелие» (стр. 262) и его отчеты по опытам в Новой Александрии за период 1880—1900 гг.

Люпиновое удобрение действует тем сильнее, чем лучше развился люпин; при опыте с запахиванием люпина, привезенного со стороны, получилась такая зависимость урожая от количества запаханного люпина:

Количество запаханного люпина (в ц)	0	90	180	270	360	450	840
Урожай картофеля	32,9	60,3	85,7	112,5	136,5	166,5	180,0
Урожай ржи	6,3	7,2	8,7	10,8	12,6	13,0	13,2

В другом ряде опытов испытывалось влияние люпина, запаханного в разных фазах развития на том же поле, где рос люпин; урожай следующей за ним ржи менялся так (в ц):

		Цветущий люпин	Завязывание плодов *	Блестящие бобы	Без люпина
1	Масса люпина	297,0	187,5	405	0
	Урожай ржи	8,5	8,8	10,1	3,0
2	Масса люпина	351,0	369,0	496,8	0
	Урожай ржи	9,2	10,2	11,4	3,6

* «Сизые бобики».

Одним из непременных условий хорошего роста люпина является присутствие в почве клубеньковых бактерий определенной расы, способной жить именно на люпине; при введении люпина в культуру первое время приходится заботиться о заражении почвы этими бактериями (без них люпин не использует азота воздуха). Из разных способов заражения более действительными оказались следующие:

1. Заражение «люпиновой землей» (землей с поля, где раньше росли люпины) производится двояко — или семена обваливаются в грязи, приготовленной из этой земли, или же сухая земля высевается в ряды вместе с семенами с помощью комбинированной сеялки.

2. Заражение клубеньками, которые сохраняются на вырытых корнях зимой в подвале (или зарытыми в яме); весной клубеньки соскабливаются, масса слегка смачивается водой и в ней обваливаются семена.

3. Внесение навоза 9—18 т/га под люпин обеспечивает развитие клубеньков; так можно приготовить «люпиновую землю» на малой площади для заражения ею остального посева.

4. Так как с семенами люпина всегда заносится некоторое количество бактерий, хотя и недостаточное для заражения всех растений в первый год, то повторение культуры люпина на том же поле 2 года подряд дает само по себе значительное заражение растений второго посева. Поэтому возможен такой прием: подсев в овес, предшествующий люпину, 30—45 кг люпиновых семян в целях лучшего заражения люпина в следующем году.

Из опытов с густотой посева приведем следующие данные:

Рядовой посев		Черезрядный посев	
высеяно семян (в кг)	получено зеленой массы (в ц)	высеяно семян (в кг)	получено зеленой массы (в ц)
150	158	90	169
150	166	120	176
210	190	150	175
		180	173

Семена люпина заделываются неглубоко, около 3 см. Так как при люпиновом удобрении важно иметь свои семена, то нужно знать условия вызревания и приемы правильной уборки семян люпина. И в этом отношении Новозыбковская станция испытала ряд приемов, повышающих дружность дозревания; при этом наблюдались такие соотношения:

	Зрелых бобов (в %)
Люпин, убранный обычным порядком	44
» прикатанный	66
» пасынкованный	82
» скошенный, дозревший в рядах	98

Подкашивание люпина (в фазе вполне налившихся блестящих бобов, с наметившимся рисунком на семенах) и последующее дозревание в рядах давали наилучшие результаты.

В западных губерниях (Гомельской, Черниговской, Киевской) возможен посев люпина не только весной, но и *пожнивно* — по уборке ржи или ячменя; запаханный поздней осенью пожнивный люпин служит удобрением картофеля и других растений ярового клина. Посмотрим теперь, в каком районе возможно применение люпинового удобрения.

Культура однолетнего люпина начала свое движение с запада — Минская, Черниговская, Гомельская губернии стоят впереди в этом отношении; в дальнейшем можно ожидать продвижения этой культуры в направлении *восточном*, а не в каком-либо ином, по следующей причине. Район культуры однолетнего люпина ограничивается с юга *границей чернозема*, ибо черноземные почвы не так нуждаются в азоте (расходование влаги люпином на них будет иметь отрицательное влияние), а с севера — границей *вызревания люпина*, посеянного на семена (ибо на привезенных семенах нельзя построить широкого применения зеленого удобрения). Эти две линии идут не параллельно, но сходятся постепенно к востоку; таким образом, наиболее обеспечен успех культуры люпина в пределах громадного треугольника, одна сторопа которого есть наша западная граница от Витебской губернии до Волыни, другая идет,

поднимаясь от Киевской губернии через Черниговскую, Орловскую и далее, по границе чернозема, а третья — слегка опускаясь от Смоленской через Калужскую, юг Московской, север Рязанской, вероятно, до Нижегородской губернии. Мы полагаем, что вершина этого клина, внедряющегося с запада, будет лежать где-либо в Нижегородской губернии, ибо там, вероятно, пересечется северная граница вызревания люпина на семена с границей чернозема; но и восточнее этой точки все «заливы» песчаных почв, входящих в чернозем с севера (например, по р. Цне, Алатырю и пр.), все лежащие внутри чернозема включения песков представят благодарную почву для культуры люпина; так, в песчаной полосе по р. Воронежу культура эта с успехом велась С. Н. Гардениным (Боринское хозяйство).

Если бы существовал только однолетний люпин, то север России, можно сказать, был бы лишен подходящего растения для культуры на зеленое удобрение такого растения, которое не было бы чувствительно к холодам и достаточно рано развивалось, чтобы после него можно было подготовить как следует почву для посева озими и чтобы можно было получать семена у себя в хозяйстве. Хорошо бы иметь растение, например типа озимой (мохнатой) вики, которая гораздо раньше дает укос, чем вика яровая, да, кстати, эта вика (V. villosa) менее требовательна к почве, чем яровая. Способностью выносить холода и перезимовывать отличается уроженец Канады — люпин многолетний (Lupinus polyphyllus), до сих пор в полевой культуре не использованный; у него относительно мелкие семена: значит, его легче разводить подсевом, чем однолетний люпин; можно думать о подсеве его под яровое, предшествующее пару, с тем чтобы в пару запахать цветущую массу, которая должна быть больше, чем у яровых форм.

Раньше с многолетним люпином имелся опыт преимущественно у лесоводов; так, на бедных песках, где сосна растет плохо, оказывалось возможным с помощью трехлетней люпиновой залежи добиться хорошего роста сосны; или возможно повысить рост уже посаженных деревьев, высевая люпин между рядами и предоставляя ему в течение ряда лет улучшать почву; такая промежуточная культура заметно усиливает рост деревьев. У Фрувирта есть указание, что в садоводстве были случаи исправления садов, потерявших свою урожайность, посевом многолетнего люпина вокруг каждого дерева.

Эти данные позволяли думать, что многолетний люпин может представить интерес для полевой культуры и что с ним следовало бы теперь же поставить опыты; и только отсутствие в Москве семян этого люпина помешало нам поставить такие опыты в Петровско-Разумовском весной 1919 г.[11*] Однако при просмотре литературы мы встретили инте-

---

[11*] К этому году относится первый доклад автора в Институте по удобрениям; теперь эти опыты ведутся, они подтверждают данные Доппельмайера об отношении этого люпина к климату.

ресные данные в статье Доппельмайера[12*], которые подтвердили наши ожидания относительно многолетнего люпина и побуждают теперь же обратить внимание на этот люпин.

Опыты Доппельмайера относятся к Петроградской губернии; ему предстояло разрешить задачу об улучшении бедных песчаных почв, именно вересковых пустошей, на которых под слоем кислого перегноя залегает оподзоленный горизонт, под ним слой ортштейна, дальше желтый песок. Эти почвы отличаются малой влагоемкостью, бедностью питательными веществами и потому бесплодны. Для улучшения их испытывались три различных растения семейства бобовых, а именно мохнатая вика, люцерна и многолетний люпин; опыт заставил отдать предпочтение последнему.

Этот люпин, действительно, обнаружил способность к раннему развитию и нечувствительность к холодам; он расцветал между 25 мая и 1 июня и переносил заморозки 7—8° безнаказанно; глубоко проникая своими корнями через уплотненный ортштейновый горизонт, он, во-первых, действовал наподобие почвоуглубителя, а во-вторых, добывал из необедненного желтого песка питательные вещества и обеспечивал себя влагой. Самая культура многолетнего люпина велась несколькими способами, причем подтвердилась значительная «эластичность» этой культуры, именно: или 1) люпин сеялся самостоятельно на почве, с осени подвергнутой умеренному известкованию, затем получившей томасов шлак и калийную соль; весной после должной подготовки люпин высевался рядами, и междурядья во время роста мотыжились; или же 2) люпин подсевался весной в озимую рожь рядовой сеялкой (после боронования); или, наконец, 3) люпин сеялся в июле, по типу озимого растения; конечно, при первом способе он развивался лучше. Урожаи люпина составляли от 45 (в первый год) до 90 ц сена (последующие годы, при двух укосах)[13*]. Урожаи даны в виде сена, потому что Доппельмайер пользовался люпином как кормом: именно он запаривал люпиновое сено и скармливал (сливая воду) скоту по 4—6 кг сена на голову.

Вообще этот люпин обещает быть более пригодным для скармливания, чем люпины однолетние[14*], но все же нужны опыты с кормлением им хотя бы овец и коз. Если эти предположения оправдались бы, то этот люпин заслужил бы название «песчаной люцерны», как способный давать в течение ряда лет по нескольку укосов в год (число укосов зависит от широты места), притом на таких почвах, на которых ни один вид люцерны сделать этого не может.

[12*] «Сельское хозяйство и лесоводство», май — июнь 1917.

[13*] В Бельгии этот люпин дает 4 укоса в лето.

[14*] Фрувирт говорит об употреблении его в корм; Домсе отмечает, что этот люпин привлекает животных, в Польше его сеют на лесных полянах для приманки зайцев; мы наблюдали, что кролики охотно едят листья многолетнего люпина, но отсутствует пока более правильный опыт кормления им без того обезгоречивания, которое описывает Доппельмайер.

Но мы ограничимся пока вопросом о запахивании этого вида люпина на зеленое удобрение: тут возможно поступать двояко: 1) пользоваться люпином однократно, высевая его на том поле, которое подлежит в будущем году удобрению: можно запахать в июне бо́льшую массу, чем дает однолетний люпин, и она успеет еще в значительной мере разложиться до посева озимого; 2) пользоваться люпином в течение ряда лет, заведя особый выводной клин с люпином; тогда скошенная масса должна запахиваться на соседних паровых полях; выводной же клин после, например, шестилетней люпиновой залежи должен претерпеть уже чуть ли не «коренное улучшение почвы», если только люпин был снабжен достаточным количеством минеральной пищи и мог свободно развертывать свою деятельность по накоплению азота и органического вещества.

И еще одну роль должно для нас сыграть это растение: если оно не может добыть фосфор со стороны, как добывает азот, то оно может все-таки нам помочь решить вопрос о фосфоре. Нужно использовать способность люпина растворять и усвоять фосфорную кислоту фосфоритов: это имеет значение теперь, когда мы не в состоянии наладить суперфосфатную промышленность, но сохраняет интерес и для будущего *как путь прямого использования низкопроцентных фосфоритов*, которые непригодны для переработки в простой суперфосфат,— таковы курские, орловские, смоленские, рязанские и многие другие залежи фосфоритов; и мы гораздо богаче именно этими третьесортными фосфоритами, чем второсортными (каковы кинешемские и вятские) и первосортными фосфоритами (каковы фосфориты Подолии и Бессарабии).

Для того чтобы иметь возможность пустить в ход более дешевую и легче изготовляемую фосфоритовую муку (в ожидании дешевого суперфосфата), нужно использовать все возможные пути там, где почва достаточно кисла (или не насыщена основаниями), нужно прямо вносить фосфорит (по Энгельгардту); где эта растворяющая способность не так сильно выражена, нужно повысить количество фосфорита (по Лебедянцеву)[15*]; где фосфорит близок, можно идти еще выше в смысле «заправки» почвы фосфоритом (по Гопкинсу); если можно достать сернокислый аммоний, то следовало бы использовать его физиологическую кислотность как средство воздействия на фосфорит; компостирование с торфом тоже должно найти свое место. Наряду с этим нужно не забы-

---

[15*] Опыты А. Н. Лебедянцева показали, что даже в северной части черноземной полосы, в области деградированных черноземов, можно заменить суперфосфат и шлак, внося тройное количество P_2O_5 (135 кг/га); в области нечерноземных почв тем больше шансов при большой разнице в ценах или отсутствии суперфосфата пытаться количеством фосфорита возместить его недостаточную растворимость.

Для области оподзоленных почв интересны цифры, полученные Энгельгардтовской станцией на пустошной земле Смоленска в среднем за несколько лет:

Удобрение:	Не удобрено	Фосфорит	Навоз
Урожай ржи (в ц)	7,5	13,8	15,3

вать и о роли растения: если злаки (и клевер!) без помощи почвы неспособны использовать фосфорит, то гречиха и горох уже это делают в большей мере, а люпин стоит выше всех растений полевой культуры по этой способности. В наших песчаных культурах, когда злаки на фосфорите содержали едва 5 мг фосфорной кислоты, гречиха заимствовала около 50 мг, а люпин 90—100 из того же количества фосфорита; для люпина было безразлично, дан ли ему фосфорит, кость или шлак (кислый фосфат в песчаных культурах для него не всегда благоприятен).

Потому, внося фосфорит под люпин и запахивая последний, мы сделаем фосфорную кислоту фосфорита доступной злаковым даже тогда, когда почва не в состоянии сделать это.

Таким образом, люпин и фосфорит обеспечат почве органическое вещество, азот и фосфор, но дальше придется еще позаботиться о калийной пище. Мы уже не раз указывали на золу [16*] как обильный источник калия, хотя и распыленный в пространстве; у нас в год получается не менее 1 млн. 640 тыс. т золы с содержанием калия от 6% (сосна и ель) до 9% (береза) на севере и от 12 до 25% K_2O на юге (ржаная солома, гречиха, подсолнечник). Березовая зола близка к карналлиту и каиниту по содержанию калия, но она свободна от хлористых солей и содержит, кроме калия, еще около 3% фосфорной кислоты; далее, нужно учесть, что она содержит калий в форме углекислой соли и богата известью; поэтому для северных почв она является не только прямым, но и косвенно действующим удобрением. Этим объясняется, почему на севере вносят с успехом не 3—4,5 ц березовой золы, как бы следовало по расчету на калий, а значительно более; и если полезное действие дозы в 15 ц можно объяснить действием фосфора, то полезное действие 30—45 ц золы можно объяснить только полезным косвенным действием оснований золы на весь ход процессов в северной почве, в том числе и на разложение органического вещества и переход его азотистых составных частей в растворимую форму.

Зола вполне заслуживает того, чтобы ее собирали в городах и на фабриках и превращали в товар, который всегда можно иметь на рынке; если это сделать нелегко, то уже совсем нетрудно каждому хозяйству использовать золу, получаемую у себя [17*]. При этом не следует пренебре-

---

[16*] См. выше «Непризнанный Стассфурт».

[17*] См. Стольгане. На что может пригодиться зола. 1919 (Изд. Общ. комитета по делам удобрений).

Лучше вносить золу не одновременно с фосфоритом, а после него; если почва не очень бедна калием для люпина, то лучше даже золу вносить под одно из следующих растений (картофель); если же люпин сам будет нуждаться в калийной пище (что возможно на очень бедных почвах), то придется золу вносить и под люпин. Впрочем, здесь многое будет зависеть от свойств почвы; во многих случаях, вероятно, и одновременное внесение золы и фосфорита не помешает люпину использовать фосфорит, в виду того что северные почвы в большинстве случаев вовсе не так легко насытить основаниями, чтобы количества золы, практически возможные, могли создать уже избыток кальция (или основания вообще).

гать и остатками от приготовления щелока, так как они содержат фосфор и известь, необходимые для северных почв, да и калий в них обычно неполно извлекается; только эти остатки нужно класть в количествах не меньших, чем 15—30 ц/га.

Наиболее ценная зола получается на юге при сжигании стеблей подсолнечника (например, на Кубани с 30% калия), гречихи (25%) и ржаной соломы (12—20%); к сожалению, наиболее важно применять золу не в этих районах, а в нечерноземной России. Для облегчения транспорта высокопроцентных видов золы (которые богаче стассфуртских солей по содержанию калия) требуется какое-то решение вопроса о таре; быть может, брикетирование золы помогло бы разрешению этого вопроса.

Итак, *люпин, зола и фосфорит* дадут нам *азот, фосфор, калий* и *кальций* и, кроме того, *органическое вещество*, необходимое для придания почве должных физических свойств; все стороны действия навоза находят себе замену при этой комбинации в предположении, что мы будем сравнивать количественно близкие нормы.

Главное значение люпину принадлежит на таких почвах, на которых не удается клевер; однако и на почвах, способных давать достаточные урожаи клевера, люпин (в частности, и многолетний) способен дать нечто, чего клевер не дает (разумея цели удобрения, а, конечно, не кормовое достоинство). Клевер неспособен использовать фосфорит (если ему не поможет в этом почва), а люпин является растением, как бы специализированным в этом отношении; во-вторых, многолетний люпин не задерживается в росте холодами весны и не страдает от июньской засухи, а то и другое сильно сказывается на клевере; в-третьих, многолетний люпин можно вырастить тогда, когда для клевера уже упущено время; так, еще в июле можно посеять многолетний люпин, чтобы в июне следующего года запахать в пару цветущую массу; в-четвертых, при разведении в выводном клину многолетний люпин способен в течение 8—10 лет давать по два укоса в сумме около 75 ц воздушно-сухой массы ежегодно (Фрувирт, Доппельмайер); в-пятых, можно еще отметить, что клевер не должен часто возвращаться на то же место, а потому добавочная культура люпина на зеленое удобрение может представить интерес и для тех хозяев, которые сеют клевер на корм.

Для почв же неклеверных многолетний люпин (+ фосфорит + зола) может сыграть роль подготовительную, поможет поднять их до клевера и льна, а еще раньше — поднять урожай картофеля; расширение же полевой культуры картофеля является очередной задачей нашего земледелия (напомним, что картофель дает с гектара почти втрое больше сухих веществ, чем хлеба, притом крахмала втрое больше, чем хлеба, а азотистых веществ вдвое больше) [18*].

[18*] Например, при крестьянском среднем уровне урожаев в 7,5 ц ржи и 75 ц картофеля, при 65% крахмала и 11% белков во ржи и 20% крахмала и 2% азотистых веществ в картофеле имеем 6,6 ц и 18,8 ц сухого вещества, 4,9 ц и 15,0 ц крахмала, 83 кг и 150 кг азотистых веществ с гектара.

Итак, не будем бездействовать в ожидании того времени, когда у нас построят заводы для связывания азота воздуха по одному из столь красивых методов и когда суперфосфаты и преципитаты из наших и из привозных фосфоритов появятся на рынке и станут общедоступными; пока наша промышленность не снабжает нас дешевыми удобрениями, будем кустарным путем улавливать азот воздуха, не забывая того факта, что каждый куст люпина (и другого бобового) есть в сущности миниатюрный завод по утилизации атмосферного азота, работающий даром за счет солнечной энергии; будем по возможности применять наши фосфориты (любые, вблизи нахождения, хотя бы низкопроцентные), используя вместо суперфосфатного завода и кислые выделения корней люпина, и ненасыщенность почвы основаниями, где она окажется к нашим услугам, и кислотность сопутствующих удобрений (торф + соли). Не забудем и о том, что каждая печь в доме, каждая топка в овине есть источник калия и кальция, хотя и не крупный в отдельности, но постоянно и всюду действующий; к этому надо добавить, конечно, и заботу о правильном хранении навоза, об увеличении его количества путем введения в него торфа, об использовании, где должно, извести, и все это на фоне исполнения элементарных правил азбуки земледелия (относительно своевременной и целесообразной обработки почвы). Вот какие на вид скромные, иногда поневоле экстенсивного типа мероприятия предстоят нам на севере в ближайший период борьбы с последствиями «депекорации»; но если бы они могли быть применены широко в видоизменениях, отвечающих местным особенностям, то последствия были бы громадны.

ТОРФЯНОЕ УДОБРЕНИЕ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ НА НАШЕМ СЕВЕРЕ *

Общеизвестно, что в нечерноземной полосе вести полевое хозяйство без навоза не стоит, но в то же время в хозяйствах этой полосы обычно навоза не хватает; он чаще всего оказывается в положении того минимального фактора, который ограничивает размер урожая или размер запашки.

Западноевропейское земледелие, имеющее дело исключительно с нечерноземными почвами, преодолело это препятствие главным образом с помощью минеральных удобрений или непосредственно применяемых под хлеба, или повышающих урожаи клевера и других азотособирателей; при этом одновременно уменьшается потребность почвы в навозе и увеличивается количество скота и навоза в хозяйствах, чем и облегчается благополучное сведение «навозного баланса».

Но массовое применение минеральных удобрений стало возможно только благодаря сильному развитию химической промышленности, снабжающей тамошнее сельское хозяйство дешевыми туками. В последнее время наряду с суперфосфатной возникла азотная промышленность, развившаяся в Германии за время войны [1914—1918 гг.] и позволившая Германии эмансипироваться от дорогой чилийской селитры. Немецкий крестьянин получает азотистое удобрение по цене, равной цене пшеницы, а при правильном применении на каждый центнер такого удобрения получается 4 ц пшеницы в приросте урожая; ясно, что от этого применение азотистых удобрений выгодно.

Ничего подобного наша промышленность сельскому хозяйству не дает; она не доросла еще [в 1924 г.] до крупного суперфосфатного производства, способного давать дешевый продукт, а производства азотистых удобрений (за счет азота воздуха) у нас вовсе нет. Поэтому мы должны пользоваться другими путями для добычи фосфорнокислых удобрений и такие же пути отыскивать и для обогащения наших нечерноземных почв азотом, в котором они так нуждаются.

В числе этих путей важная роль может принадлежать использованию азота торфа путем применения последнего в подстилку — это способ обогащения пашни азотом за счет болот. С этой точки зрения вопрос о торфяной подстилке получает более общее значение, и из узкого

---

* Печатается по тексту, опубликованному в Юбилейном сборнике «Статьи и научные работы Д. Н. Прянишникова», т. 2, 1928, стр. 482—484. Впервые опубликовано как предисловие к книге И. С. Бирюзова «Торфяное удобрение и его применение на нашем Севере». М., 1924.

вопроса, интересного только для животноводства, он превращается в важный вопрос полеводства для всех тех наших хозяйств, которые расположены вблизи залежей торфа.

Прежде интересовались возможностью с помощью минимального количества торфяной подстилки (сфагнума) поглотить максимум жижи и сэкономить на соломе; теперь мы хотели бы подчеркнуть преобладающее значение, с нашей точки зрения, другой задачи: данным количеством жидких экскрементов смочить и инфицировать максимум торфа, чтобы вовлечь в процесс брожения азотистые вещества торфа и получить как можно больше навоза; при этом солома не заменяется, а дополняется торфом, и в торфе ценится не только его влагоемкость и способность поглощать аммиак, но и содержание азота в самом торфе.

В этом направлении в последние годы велись опыты в нашей лаборатории **, и результаты, полученные при учете использования азота торфа, были очень благоприятны: даже для мохового торфа удалось показать, что его азот способен переходить в соединения, служащие азотистой пищей растениям, причем переход этот происходит со скоростью, измеряемой месяцами, а не годами. Тем более торф низовой, в своих более разложившихся модификациях, является благодарным материалом для приготовления навоза и компоста. В участии азота самого торфа в питании растений, а не в одной только хорошей поглотительной способности торфа по отношению к аммиаку, нужно видеть объяснение преимуществ торфяного навоза перед обыкновенным, констатируемых в наших опытах и в данных, полученных в Швеции и Германии.

Но вот оказывается, что на нашем севере, в Шенкурском и Холмогорском уездах, торфяное удобрение является обычным приемом поднятия урожаев, благодаря этому достигающих на тощих землях и в суровом климате большей высоты, чем в хлебородных губерниях.

Северный крестьянин методично работает над заготовкой торфяного удобрения, многое правильно им подмечено. В наших опытах было констатировано, что торфяной навоз почти не вызывает денитрификации, поэтому он особенно удобен при непосредственной вывозке под яровые; как бы согласно с этим архангельский крестьянин считает за правило вывозить обыкновенный навоз в пару под рожь, а «тундряное удобрение» — под ячмень. Интересно также указание на добавление экскрементов к помоям, приливаемым для смачивания торфа, на компостирование с известью, с золой.

Очевидно, там имеется благодарная почва для инструктирования по приготовлению правильного компоста путем предварительного введения фосфоритной муки в «кислый компост» и последующего проведения массы через «биологическое» компостирование после введения золы и инфицирования бактериями (или после смешения «кислого компоста» с мас-

---

** В Сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева.

сой торфяного удобрения, полученного со скотного двора). Шенкурский уезд может стать, таким образом, тем очагом, из которого распространится правильное использование торфа на громадный район, лежащий от него к югу.

Но и в современном состоянии техника применения торфа в Шенкурском и Холмогорском уездах чрезвычайно поучительна; очень важно для пропаганды торфяного удобрения иметь возможность сослаться на этот массовый опыт северных крестьян: он может заставить крестьян других губерний крепче задуматься над этим вопросом, чем только цифры опытных учреждений, не облеченные в столь живые образы.

ЗНАЧЕНИЕ ТОРФА КАК МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТОРФЯНОГО НАВОЗА И КОМПОСТА [19]

Большие запасы азота имеются у нас в черноземе и торфе, которые в этом отношении богаче чилийских залежей. Запасы торфа у нас колоссальны *.

В поисках источников азота для удобрения мы обратились к торфу. По датским данным, на торфяной подстилке получается больше навоза и, кроме того, торфяной навоз содержит больше азота. В работе Якушкина и Константинова ** приведены следующие результаты внесения одинаковых весовых количеств обыкновенного и торфяного навоза как удобрения (в процентах):

без удобрения	100
навоз обыкновенпый	166
» торфяной	184

Изучение процессов нитрификации (работа П. Р. Купреенка [3*]) дает для торфяного навоза некоторый перевес нитратов.

Эти опыты были проведены, когда выяснилось, что на севере крестьянство уже широко использует торф, применяя его на громадных площадях, причем используется азот самого торфа, так как навоз примешивается в малых количествах, только для заражения. Можно сказать, что, например, Шенкурский уезд питается азотом торфяников.

Представляет интерес выяснение вопроса, сберегает ли только торфяная подстилка азот экскрементов, или при удобрении торфяным навозом используется также и азот самого торфа. Широко распространено представление, что торф представляет собой губку, впитывающую навозную жижу и поглощающую аммиак, но что азот самого торфа остается для растения недоступным.

П. Р. Купреенком был проделан для решения этого вопроса следующий опыт.

Торф вносился в песок, среду, неблагоприятную для развития бактериальной жизни, в разных количествах. Калий и P_2O_5 были даны. Результаты были получены следующие:

Дано торфа (в г на сосуд)	0	60	120	240	Дана селитра
Перешло азота в урожай (в мг)	171	263	389	508	640

* Впервые было опубликовано в «Трудах Научного института по удобрениям», вып. 34, 1926, стр. 72—75.

** «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ». Под ред. Д. Н. Прянишникова, т. XI, 1918; т. XII, 1923.

[3*] Там же, т. XIII, 1925.

Таким образом, в урожай перешло до 27% азота торфа. Повторение этого опыта вполне подтвердило полученные результаты и показало, что даже азот мохового торфа может быть доступен растениям. Даже такое требовательное к азоту растение, как конопля, может расти на чистом торфе при внесении зольных веществ.

Переходя к вопросу о компостировании торфа, следует отметить, что способ использования торфа на удобрение в Шенкурском уезде есть собственно способ приготовления торфяного компоста, а не навоза.

Для изучения этого вопроса о компостировании торфа была намечена следующая схема:

1) кислое компостирование с фосфоритом, имеющее целью перевод фосфорной кислоты фосфорита в растворимое состояние;

2) щелочное компостирование с золой, поташем или известью для перевода азота торфа в усвояемое состояние;

3) биологическое компостирование с поливкой навозной жижей для заражения бактериями.

Два первых процесса ведутся отдельно, а затем кислый и щелочной компосты смешиваются и заражаются навозной жижей. Все это представляет собой систему получения навоза без скота.

Дальнейшие опыты показали, что эту схему можно упростить: во-первых, биологические процессы начинаются и без заражения, во-вторых, и щелочное компостирование не всегда бывает нужно.

В моей лаборатории опыты с компостированием велись З. В. Логвиновой[4*]. В общем за два месяца переходило в усвояемую форму до 10% азота, а за шесть месяцев до 18%. Также переходила в растворяемую форму фосфорная кислота фосфорита.

Были испытаны различные комбинации торфа с $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$, золой и навозной жижей.

В следующей таблице приведены результаты одного из опытов с щелочным компостированием, продолжавшегося 72 дня.

Перешло азота (в % от общего количества азота торфа) в форму	С 1% CaO		С 4% золы (0,38% CaO)	
	без заражения	с заражением	без заражения	с заражением
NO_3	–	4,3	8,4	7,5
NH_3	3,7	3,1	3,5	0,7

Следовательно, даже без заражения до 8% азота торфа становятся за 72 дня доступными растению.

К сожалению, на севере не применяется фосфорит, его применение сильно улучшило бы использование торфа. При компостировании с фос-

[4*] Труды Научного института по удобрениям, вып. 32, 1926.

форитом большое значение имеет отношение фосфорита к торфу. Желательно отношение около $^1/_{30}$, но чем оно шире, тем лучше используется фосфорит. При отношении $^1/_{100}$ 69% фосфорной кислоты переходит в водорастворимую форму.

Разложение фосфорита идет даже при смешении его с сухим торфом. Можно просто запахивать вместе торф и фосфорит.

При кислом компостировании весьма желательно применение гипса. Хотя, по старым данным, только соли щелочных металлов усиливают разложение фосфорита, однако при достаточно широком отношении и при внесении гипса с таким расчетом, чтобы сумма оснований не превышала ненасыщенности торфа, гипс дает даже лучшие результаты, чем другие соли. Реактив Петермана в присутствии торфа дает неверные результаты, почему лимоннорастворимая фосфорная кислота не может быть учтена, количество же водорастворимой при внесении гипса сильно повышается и само разложение идет быстрее.

Что касается применения торфа на удобрение на севере, то, по подсчету, сделанному М. Д. Бахулиным в Шенкурском и Холмогорском уездах, 20 тыс. хозяйств вносят ежегодно 560 тыс. тонн торфа. Почвы там песчаные, навоз вносится и под рожь, и под ячмень, урожаи высокие, лугов мало. Чистые пары там невыгодны, так как удобрения на песчаной почве быстро пропадают. Как и на Украине, для этого района лучше подошли бы занятые пары.

Обследование имеющихся там торфов показало, что из 42 исследованных болот оказалось: 16 моховых, 10 низинных, 9 притеррасных и 7 переходных. Торф моховых болот содержит 1—1,5% азота, торф низинных — 2,5—2,8%.

Все сказанное убеждает в том, что азот торфа можно использовать в большей степени, чем обычно думают. Азот торфа используется при непосредственном удобрении торфом, вернее торфяным компостом. В итоге рассмотрения вопроса о значении торфа как удобрения можно выделить определенный район, где источником азота может являться торф. На карте районов возможного применения различных удобрений можно выделить следующие зоны:

I. Юг, где удобрения не действуют вовсе [20].

II. Украина — где в минимуме фосфорная кислота, но может применяться только суперфосфат.

III. Так называемая Лебедянцевская зона — выщелоченные и деградированные черноземы — район непосредственного применения фосфорита.

IV. Фосфоритно-люпиновый район, начинающийся от Белоруссии и кончающийся на севере вместе с границей вызревания люпина.

V. Северная зона, распадающаяся на две части:

а) центральную, где возможна комбинация азота клевера и фосфорита;

б) северную, где ее заменяет комбинация азота торфа и фосфорита.

О ПУТЯХ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ *

Еще Катон в Древнем Риме сказал, что для получения хороших урожаев нужно «во-первых, пахать, и, во-вторых, пахать, и, в-третьих, удобрять». Само собой разумеется, что земли освобожденных от фашистской оккупации районов нуждаются прежде всего в хорошей обработке и очищении их от сорняков. Кроме того, они нуждаются в обильном удобрении. Особенно это относится к подзолистым и песчаным почвам Белоруссии, да и ко всем почвам нечерноземной полосы РСФСР.

Но как раз в областях, где хозяйничали фашисты, вопрос об удобрении полей является наиболее острым. В годы оккупации велось хищническое хозяйство, поля истощались повторными посевами без внесения удобрений. О посевах клевера и речи не было. Большая часть скота была или уничтожена, или вывезена в Германию. Вблизи железных дорог, где стояло много фашистских войск, скот уничтожен на 100%. Да и вообще в Белоруссии вряд ли уцелела четверть лошадей и 25—30% рогатого скота, имевшегося в республике до войны.

На минеральные удобрения во время войны рассчитывать трудно — химическая промышленность работает прежде всего на нужды обороны. Но и после войны для удобрения земель под хлеба можно рассчитывать преимущественно на фосфаты и калийные соли, азотная же промышленность долго еще будет обслуживать не зерновую продукцию, а технические культуры: хлопчатник, лен, сахарную свеклу, а также сады и огороды. И картофель должен получить побольше азота.

И пока промышленность не насытит азотистыми удобрениями эти культуры, нельзя рассчитывать на получение азота под хлеба. Да и вообще для гигантской площади, занятой зерновыми, нужен более дешевый источник азота, чем синтетическая продукция туковой промышленности.

Таковым является прежде всего навоз. Но при недостатке скота в освобожденных районах приходится думать и о заменителях навоза, и о том, как увеличить сбор навоза от домашнего скота. Там, где есть торф, нужно применять в стойлах торфяную подстилку (торф подстилается под солому), перeслаивать навоз с торфом на гноище, устраивать и чисто торфяные компосты с введением в них золы. А где окажутся избытки соломы при недостатке скота, полезно приготовлять искусственный навоз. В этом случае, как и при торфяных компостах, обильным источником азота (и бактерий) могут являться фекальные массы. Места-

---

* Статья опубликована в газете «Правда», № 85, 9/IV, 1945.

ми можно применить для приготовления компоста лесную подстилку, которая содержит питательных веществ больше, чем солома.

Другой главной мерой обогащения почвы азотом является расширение посевов клевера, именно клевер обогащает азотом и навоз и почву. Поэтому громадное значение имеет введение правильных севооборотов с клевером, причем в ряде клеверосеющих областей площадь под ним может быть доведена до 25% от общей посевной площади.

В Киевской области, например, чистый посев клевера, при одногодичном пользовании им, дает наилучший фон для озими. В нечерноземной полосе преобладает тип двухлетнего пользования смесью клевера с тимофеевкой, при восьмипольном севобороте, с посевом яровых после трав. А в Казахстане, где клевер не удается, мы должны иметь посевы чистых злаков, занимающих поле на несколько лет хотя бы малопродуктивными, как житняки и пырей. Следовательно, в этом животноводческом хозяйстве уместно травополье. На западе азотирование почвы с получением корма будет совпадать при клеверосеянии, на юго-востоке приходится действовать по-другому. Там господствуют севообороты без трав, ибо клевер и люцерна не удаются, но имеют засухоустойчивые зерновые бобовые — нут, чина. Поэтому некоторое приближение к плодосмену в Заволжье и Казахстане достигается широким введением зерновых бобовых в те севообороты без трав, которые там господствуют.

Вообще шаблона при введении севооборотов не должно быть. Правильные севообороты должны исходить из конкретных условий каждого района.

Но, кроме навоза и клевера, есть третий источник азота, не зависящий от промышленности. И этот источник может стать очень крупным. Дело в том, что кроме бобовых пищевого и кормового назначения имеется еще одна группа — это бобовые, высеваемые на зеленое удобрение. Роль их до сих пор была невелика, но теперь должна сильно возрасти. Увеличивать площади под зеленоудобрителями можно в грандиозных размерах, без всякого ущерба для других культур. Мы располагаем громадной площадью паров: около 25 млн. гектаров. Если отбросить засушливый юг и говорить только о северной половине этой площади, то и тогда это мероприятие окажется способным конкурировать с клеверосеянием по количеству связываемого азота.

Действие зеленого удобрения проявляется гораздо быстрее, чем действие клевера. Ведь если посеять клевер весной 1945 г., то только в 1946 г. он даст укос, только в 1947 г. будет запахан навоз, полученный от скармливания этого клевера, и только в 1948 г. получится прирост урожая ржи. А посев люпина на зеленое удобрение в 1945 г. даст повышение урожая уже в 1946 г. Поэтому особенно важно именно теперь, пока площадь под клеверами не доведена до нормы, всеми мерами использовать возможности обогащения почвы азотом с помощью зеленого удобрения.

Достаточно известны блестящие работы Новозыбковской опытной станции, созданной Е. К. Алексеевым в трудное время 1918 г. Ими доказана возможность крупного поднятия плодородия бедных песков Черниговщины с помощью люпина.

Но если раньше, когда применение зеленого удобрения ограничивалось песчаными почвами Черниговщины и Белоруссии, вполне уместен был обычный синий люпин, то теперь, когда ставится вопрос о всех почвах нечерноземной полосы, включая и север, прежняя форма уже не годится. Для севера необходимо произвести замену обычного люпина другой формой — многолетним люпином, который не является зерновым, но дает больше зеленой массы. Эта форма до сих пор была мало распространена, но впредь должна занять первое место, во-первых, потому, что вопрос о снабжении семенами для нас решается гораздо легче и область распространения его на север ничем не ограничена, а во-вторых, потому, что этот люпин родится и на связных почвах. Поэтому зеленое удобрение становится универсальной мерой поднятия плодородия всех почв нечерноземной полосы.

Яровая форма синего люпина имеет крупные семена, поэтому приходится высевать их на гектар 180—200 кг, кроме того, этот люпин теплолюбив, и к северу от Москвы его семена не вызревают. Форма же, предложенная автором, имеет мелкие семена, их требуется на гектар всего 30 кг, а получение в хозяйстве собственных семян возможно и на севере, вплоть до Архангельска.

Цветение многолетнего люпина начинается на 40 дней раньше, чем яровой формы, что позволяет и на севере с успехом применять зеленое удобрение под озимую рожь. Несмотря на короткое лето, колхозы будут запахивать бóльшую массу, чем при посеве ярового люпина.

Рядом опытов, проведенных в различных областях, доказано высокое удобрительное действие многолетнего люпина. Если раньше считалось, что он годится лишь для культуры вне севооборота, как поставщик «укосного удобрения», то в последнее время данные Судогодского опытного поля показали, что подсев многолетнего люпина под овес в целях запахивания на следующий год под рожь вполне возможен, что подтверждено опытами в Московской, Смоленской, Калининской и Пермской областях.

В Смоленской области, например, при таком способе применения зеленого удобрения были получены следующие данные (средние за три года):

	Урожай озимой ржи (в ц/га)	Урожай картофеля (последействие) (в ц/га)
Контроль	8,4	87,4
Навоз 18 т	12,3	151,6
» 36 »	15,9	168,3
Люпин многолетний	15,0	176,8

Таким образом, действие люпина было близким к действию 36 т навоза. Еще более благоприятные результаты были получены на Уральской зональной станции (Пермская область), где действие люпина было значительным даже на третьей культуре.

Урожай (в ц/га)

	Рожь	Лен по ржи		Ячмень после льна
		солома	семена	
Контроль	7,0	11,0	2,5	6,9
Люпин, запаханный в цвету	19,1	21,2	5,3	12,1

Не умножая числа примеров, остановимся на вопросе получения семян многолетнего люпина. Автором был предложен и отчасти уже осуществлен Наркомземом следующий план форсированного размножения этих семян у нас в СССР: 10 ц семян, собранные в конце июля — начале августа 1944 г., были отправлены на юг (Кубань) для высева их в сентябре — октябре того же года, тогда как на севере их пришлось бы высевать только весной 1945 г. и урожай семян был бы получен только в 1946 г. Ради экономии семян посев был произведен широкорядный (расстояние 30 см), при котором можно высевать только 4—5 кг на гектар при условии последующего мотыжения междурядий (данные Волоколамского опытного поля).

Урожай семян при хорошей культуре можно получить 4—5 ц, т. е. сам-сто. Если все эти условия соблюдены, то 10 ц семян, посеянных в 1944 г., должны дать 1000 ц семян в 1945 г. При высеве их на юге в том же 1945 г. можно получить сбор в 100 тыс. ц в 1946 г. и 10 млн. ц в 1947 г., а это уже больше, чем нужно. Но нам важно показать, что размножить семена люпина можно очень быстро. Кроме того, размножение семян должно идти и на севере, преимущественно на запольных (внесевооборотных) участках, где люпин может давать урожай семян ежегодно в течение 8—10 лет.

Семена, которые будут собраны на Кубани в начале лета, следует снова посеять в том же году. Кроме Кубани, посев может быть произведен в более северных областях: в Рязанской, Тульской, Орловской, Черниговской и в Южной Белоруссии, при условии своевременной доставки семян и высева их между 15 июля и 1 августа. Высевать их надо на особых участках, выделенных на паровых полях. В западной части возможен и пожнивной посев, после уборки ржи: так могут быть заложены семенные питомники, которые в течение ряда лет будут давать семена для северной части Союза.

Как только недостаток семян будет устранен, введение культуры люпина на севере может стать мерой большого государственного значения. Если представить, что в будущем люпин займет паровые поля на площади в 10 млн. гектаров и будет давать на каждый гектар по 30 т зеленой массы, вполне заменяющей 30 т навоза, то ведь это все равно что увеличить количество применяемого у нас навоза на 300 млн. т. Так как до 1940 г. вывозилось около 200 млн. т навоза, то введение люпина будет отвечать увеличению количества применяемого навоза в два с половиной раза (500 млн. т вместо 200).

Итак, поднятие урожаев хлебов в предстоящие годы должно базироваться на основе полного использования навоза, расширения клеверосеяния и широкого применения люпина на зеленое удобрение. Но промышленность должна дать калий и фосфор для клеверов. Это открывает путь по крайней мере к удвоению урожаев хлебов против современного уровня. Азотная промышленность пока должна обслуживать технические культуры, и только после радикальной перестройки техники связывания азота и необходимых экономических мероприятий можно будет говорить о значительном участии азотно-туковой промышленности в деле поднятия урожаев хлебов на еще большую высоту.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АГРОНОМИИ И ХИМИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ [21]

СЕВООБОРОТ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ В ДЕЛЕ ПОДНЯТИЯ НАШИХ УРОЖАЕВ [22]

Севооборотом называют определенное чередование культур во времени при соответствующем чередовании их в пространстве. При этом каждый год хозяйство в целом имеет налицо все те культуры, которые на отдельном поле пройдут друг за другом только в течение ряда лет. Поэтому, как правило, можно одинаково обозначать севооборот или по числу полей в натуре и говорить, например, о четырехполье, или по числу лет, через которое повторяется цикл, и говорить в данном случае о четырехлетнем севообороте. Из этого правила имеются исключения, но мы не будем здесь останавливаться на этих частных случаях *.

ЗЕРНОВОЕ ТРЕХПОЛЬЕ И ПЛОДОСМЕН

Были времена, когда не только у нас, но и во всей Европе господствовала однообразная культура зерновых хлебов. Нельзя сказать, что тогда не было никакого севооборота, но в течение целого тысячелетия (VIII—XVIII столетия) в Европе господствовал трехпольный севооборот, в котором не было других культур, кроме хлебов, не было никакого разнообразия, не было того чередования культур с противоположными свойствами, которое получило впоследствии название плодосмена. В эти средневековые времена часто бывали неурожаи, поражавшие целые страны и вызывавшие голодовки со всеми их последствиями. При однообразии культур каждое резкое отклонение в условиях погоды, как, например, длительная засуха весной, может оказывать подавляющее влияние на общий сбор продовольственного зерна, и эту потерю нечем было компенсировать. Точно так же гибель посевов зимой от сильных морозов или, что на западе бывает чаще, от выпревания подрывает значение главного продовольственного клина — озимого. То же относится и к появлению вредителей, как озимая совка или гессенская муха,— безграничные поля,

* Работа печатается по тексту, опубликованному отдельной брошюрой в издательстве Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева. М., 1945.

занятые одной и той же культурой, давали полный простор их массовому размножению.

Такое однообразие культуры в связи с плохой агротехникой вызывало большую неустойчивость урожаев и риск повторения голодных лет.

Существенный шаг вперед был сделан в земледелии после того, как открытие Америки Колумбом подарило Европе ряд новых культурных растений, в том числе картофель и кукурузу.

Уже один тот факт, что картофель имеет иной темп развития, чем хлеба, играет большую роль. Так, картофель высаживается позднее, чем сеются яровые хлеба, и медленно прорастает; его клубень сам по себе содержит достаточный запас воды для прорастания, поэтому майскую засуху, губительную для хлебов, картофель легче может пережить, и если в июне пойдут дожди, которые уже не могут поправить состояние хлебов, то картофель хорошо их использует, так же как и дожди второй половины лета и начала осени. Насекомые, повреждающие хлеба, не вредят картофелю. Поэтому введение картофеля явилось способом страхования от общего неурожая, тем более что картофель дает гораздо больше питательных веществ с гектара, чем хлеба, причем это относится не только к валовым урожаям клубней, которые богаты водой, но и к сухому веществу урожая. Именно урожай сырых клубней может в 9—10 раз превысить урожай зерна ржи на такой же почве, но клубни содержат в среднем 75% воды и только 25% сухого вещества, а зерно ржи нормально содержит 86% сухого вещества и лишь 14% воды. Отсюда нетрудно высчитать, что картофель дает в 2,7—3 раза больше питательных веществ с гектара, чем рожь.

Культура картофеля, конечно, требует больше затрат труда, чем культура ржи, но время применения этого труда не совпадает с главными работами по культуре хлебов. Так, окучивание картофеля производится до уборки хлебов, а уборка картофеля наступает значительно позднее, чем уборка хлебов. Добавочный труд по культуре картофеля хорошо оплачивается, и население Европы скоро оценило картофель, найдя в нем «второй хлеб». Теперь для ряда стран просто трудно представить, как это можно было жить без картофеля в средние века.

Правда, нужно отметить, что первоначально картофель возделывался вне севооборота на приусадебных участках, а потому, играя большую роль в продовольствии, он еще не оказывал влияния на общий строй хозяйства. Только позднее картофель «вышел в поле» и стал входить в севооборот.

Если для обеспечения продовольствия в умеренном поясе имело большое значение введение в культуру такого нового растения, как картофель, то для жаркого юга значительный прогресс в земледелии наблюдался от введения кукурузы. Это — тоже растение более позднего цикла развития, но к тому же более засухо- и жароустойчивое, чем пшеница и рожь, не поражаемое обычными вредителями хлебов и дающее более высокие и более постоянные урожаи. Поэтому, подобно картофелю на

севере, кукуруза быстро заняла прочное положение на юге, у нас в Закавказье, Бессарабии и во многих зарубежных странах: Румынии, Венгрии и Турции.

Следующим важным шагом к увеличению разнообразия в полевых культурах было введение полевого травосеяния, точнее клеверосеяния, так как именно последнее сыграло историческую роль в поднятии урожая в Западной Европе в течение XVIII—XIX столетий и также является главным условием поднятия урожаев хлебов у нас при современном построении севооборотов и введении улучшенных приемов агротехники как в подзолистой, так и в лесостепной зоне.

В период чисто зернового трехполья травы росли только на лугах, а количество лугов все уменьшалось вследствие их распахивания по мере возрастания густоты населения и увеличения потребности в хлебе **. Все возрастающее сокращение площади лугов привело к недостатку кормов и уменьшению количества скота, а когда стало мало навоза, урожаи стали падать; при наступившем относительном малоземелье стало бременем то обстоятельство, что целая треть площади пропадает под паром. Правда, из-за недостатка пастбищ пары служили выгоном для скота, но эта пастьба скота мешала правильной обработке пара, не давая в то же время достаточного количества корма для животных.

Так наступил кризис трехполья. Но вот в XVI веке на полях Бельгии и Голландии стал появляться клевер, который обнаружил то замечательное свойство, что он не только доставлял корм животным и повышал количество навоза в хозяйстве, но еще и улучшал почву, на которой он развивался, и после него получался повышенный урожай озимых хлебов.

Спачала занимали клевером паровое поле в трехпольном севообороте, подсевая его под яровые, но затем рамки трехполья стали тесными, тогда перешли к новому типу севооборота, в котором культура хлебов никогда не повторялась два года подряд, но правильно чередовалась с клевером и пропашными культурами. Такого рода чередование получило название *плодосмена*, причем наибольшую роль на Западе сыграло так называемое норфолькское четырехполье: 1) пропашные (корнеплоды или картофель); 2) яровое; 3) клевер; 4) озимое. Так как звенья этого севооборота входят и в большинство наших севооборотов, то остановимся на нем подробнее.

Считается (что верно только для условий мягкого климата), что каждое растение в этом севообороте имеет лучшее для себя место. Так, корнеплоды идут по углубленной (с осени) вспашке и получают достаточное количество навоза; междурядная их обработка помогает борьбе с сорняка-

---

** В качестве примера приведем такую справку для Московской губернии за период с 1860 по 1912 г.:

	1860 г.	1887 г.	1912 г.
На 100 га пашни приходилось сенокоса (в га)	56,7	23,9	16,4

ми, рыхление поля при их уборке также имеет значение, поэтому яровые находят после корнеплодов поле хорошо разрыхленным, чистым от сорных трав и все еще содержащим значительное количество питательных веществ, так как навоз далеко не используется одним годом культуры. Эти же преимущества идут на пользу и клеверу, подсеваемому под яровое (без примеси злаков, если клевером пользуются один год) [3*], а пышно развивающийся клевер является в условиях мягкого климата прекрасным предшественником для озимых. Таким образом, все культуры находят для себя в этом севообороте наилучшее положение.

Норфолькское четырехполье имело большой успех не только у себя на родине (в Англии), где держится уже в течение 150 лет, но и в Бельгии, Голландии и Северной Франции; постепенно оно вызвало *удвоение* урожаев хлебов против уровня, бывшего при трехполье, т. е. вместо средневекового урожая в 7—8 ц урожай постепенно поднялся до 15—16 ц, и это произошло в то время, когда Европа еще не знала применения минеральных удобрений. Но общее повышение продуктивности полеводства далеко не измерялось этими цифрами, так как переход от трехполья к плодосмену повысил посевную площадь на 50% (вследствие вытеснения пара), кроме того, появилось целое поле пропашных культур, которые дают раза в три и больше питательных веществ, чем хлеба (как мы видели выше, для картофеля это соотношение равно почти трем, а для корнеплодов оно выше трех). Если учесть все это, то оказывается, что общая продуктивность посевной площади при плодосмене повысилась по крайней мере *вчетверо* по сравнению с трехпольем (это будет показано ниже).

Из сказанного не следует, конечно, что именно названное четырехполье будет везде наилучшим севооборотом, число полей вообще не имеет магического значения, но нужно брать из этого севооборота то лучшее, что он дал, приспособляясь к местным климатическим и экономическим условиям. Так и было сделано во всех странах Западной Европы. Везде принято было за основу чередование хлебов с пропашными и клевером, но нередко путем введения добавочных клиньев севооборот становился пятипольным и шестипольным, например: корнеплоды, яровые, клевер, озимые, горох и овес (Северная Франция). Такой добавкой увеличивается площадь под зерновыми растениями и снижается процент площади под корнеплодами и клевером. Если же, наоборот, при животноводческом уклоне хозяйства желают иметь больше кормов, то оставляют клевер на два года и получают так называемое английское пятиполье: пропашные, яровые, клевер, клевер, озимые. Но если увеличения кормов не требуется, то можно осуществить двухлетнее пользование клевером и не прибегая к увеличению площади под клевером против исходного четырехполья. Для этого число полей удваивается, как это произошло в Дании, где

[3*] 150-летний опыт Западной Европы показал, что при однолетнем пользовании клевером к нему не следует примешивать злаковых трав.

стали пользоваться клевером два года, чтобы сэкономить на семенах клевера. Так получилось следующее очень распространенное там восьмиполье: 1) корнеплоды; 2) яровое; 3) клевер; 4) клевер; 5) озимое; 6) картофель; 7 озимь; 8) ярь [4*].

Здесь точно так же, как и в норфолькском четырехполье, 25% площади отводится под клевер (при двухлетнем пользовании к нему примешивается тимофеевка), под хлебами находится 50% и под пропашными 25% площади. Таким образом, ясно, что этот восьмипольный севооборот принадлежит к одному типу с норфолькским четырехпольем, т. е. является *плодосменным*.

Мы потому отмечаем этот датский севооборот, что по тому же принципу построены многие наши восьмипольные севообороты, однако с тем различием, что у нас обыкновенно при двух полях клевера имеется лишь одно поле пропашных растений, *второе же поле пропашных заменено паром*, для чего имеются вполне реальные основания.

Дело в том, что полное упразднение паровых полей было легко осуществимо в Западной Европе при тех климатических условиях, когда имеется возможность хорошо подготовить почву и вовремя (т. е. в сентябре и даже в октябре) посеять озимь, несмотря на отсутствие пара, и не только после клевера, но и после льна, после конских бобов, после картофеля; кроме того, в Бельгии, Голландии, значительной части Англии и Франции почва не замерзает и пахать можно в течение всей зимы (кроме очень дождливых дней). Поэтому если озимые в Англии убираются в половине июля и поле тотчас лущится, а затем на него вывозят навоз и запахивают, то чему отвечает состояние такого поля в течение 4 месяцев (15/VII—15/XI), как не чистому пару? Таким образом, в Англии отменен только весенне-летний пар (до посева озими), а летне-осенний пар (после озими) там имеется, и к этому присоединяется еще мягкая растянутая весна, допускающая повторную предпосевную обработку. Также и после уборки корнеплодов до посева яровых весной там имеется если не полный пар, то по крайней мере полупар.

Итак, в норфолькском севообороте только формально отсутствует пар, но по существу имеется в скрытом состоянии по крайней мере полтора периода парования. Этого мы при наших короткой осени и суровых зимах не имеем, а кроме того, у нас озимые высеваются так рано, что если не говорить о южных областях, то не так-то легко заменить чем-либо паровое поле, дающее возможность хорошо обработать и удобрить почву и вовремя произвести посев озимых.

Поэтому, учитывая весь богатый опыт таких стран, как, например, Голландия, достигшая средних (для целой страны) урожаев в 30 ц, мы должны взять из этого опыта только то, что отвечает нашим природным условиям и нашим плановым заданиям. Нельзя брать, например, нор-

---

[4*] Первые пять полей этого севооборота в сущности воспроизводят английское пятиполье, но к нему добавлено трехполье с занятым паром.

фолькский севооборот и воспроизводить его целиком, как это делали у нас некоторые помещики на рубеже XVIII и XIX столетий, чтобы вскоре наткнуться на ряд неудобств, но нужно изучить причины оказанного им благотворного действия на западное хозяйство и использовать положительные стороны в рамках нашей сельскохозяйственной действительности [5*].

О ЗНАЧЕНИИ ЧЕРЕДОВАНИЯ КУЛЬТУР В СЕВООБОРОТЕ

Остановимся ближе на тех причинах, по которым правильное чередование совершенно различных растений, как хлеба́, пропашные и кормовые травы, оказывается гораздо более продуктивным, чем непрерывное возделывание растений одного и того же типа; или, коротко говоря, почему плодосмен лучше, чем монокультура. Причины эти многообразны, их можно разделить на 4 группы: 1) причины химического порядка, как различный состав растений и особенности поступления питательных веществ из окружающей среды; 2) причины физического порядка, как

[5*] При этих первых попытках введения плодосмена в отдельных помещичьих хозяйствах в конце XVIII столетия совершенно не учитывалось глубокое различие между экономическими условиями Англии с ее интенсивным животноводческим хозяйством и нашим экстенсивным преимущественно зерновым хозяйством того времени, при котором отведение 25% площади под пропашные было совершенно ненужным, тем более что не только развитое животноводство, но и свеклосахарные, крахмальные, винокуренные заводы, как правило, в помещичьих хозяйствах отсутствовали. Уже более правильным было введение Самариным в 1805 г. восьмилетнего чередования культур с двумя годами клевера, с сохранением пара, без обязательства занимать картофелем даже 1/8 полевой земли.

Подобные севообороты не только часто встречались и при последующем развитии травосеяния в помещичьих хозяйствах, но и при введении московским земством травосеяния на крестьянских общинных землях в 90-х годах прошлого столетия преобладало «волоколамское восьмиполье» и так называемый ярославский севооборот с восьмилетним чередованием культур (при четырех полях в натуре). К 1916 г. в некоторых уездах Московской губернии (как в Волоколамском) до 85% селений перешли к общинному травосеянию, и клевер занимал в них около 22% пахотной площади.

С 1925 по 1930 г. наблюдалось ускорение темпов развития травосеяния (площадь под клевером утроилась), а затем еще более резкий перелом в сторону его возрастания наступил в 1935 г.

На первых стадиях развития крестьянского травосеяния не хватало еще одного важного признака плодосмена, а именно не был развит пропашной клин, но затем стала развиваться культура картофеля, и к 1940 г. площадь под ним в Союзе учетверилась по сравнению с 1900 г., а в Московской области она достигла 17% площади пашни.

В сельскохозяйственной литературе история введения травосеяния отразилась в ряде работ и популярных брошюр, составленных земскими агрономами (Бажаевым, Зубрилиным и др.), а также уделялось немало внимания травосеянию в курсах земледелия (Прянишников с 1896 г., Вильямс с 1916 г.) и в отдельных монографиях; из последних наиболее важной является работа П. И. Лисицына «Русский культурный клевер» (Труды Шатиловской опытной станции, 1926).

разная структура и разное состояние влажности почвы, оставляемой одним растением и поступающей под посев следующей культуры; 3) причины биологического порядка, как разное отношение культур к вредителям из растительного и животного мира и к сорным травам; 4) причины экономического порядка, вытекающие из различий в количестве и распределении труда, требуемого разными культурами по сезонам, в разной транспортабельности продуктов, отчуждаемых из хозяйств, и разном их значении для организации животноводства и технических производств.

Рассмотрим по порядку эти разные стороны влияния предшествующей культуры на следующую за ней.

1. Различия *химического* порядка касаются особенностей питания сельскохозяйственных растений азотом и зольными веществами, причем наибольшие различия имеются как раз в отношении к источникам азота. Именно существует особая группа растений (бобовых), которые называются азотособирателями, они способны использовать азот воздуха (при содействии бактерий, проникающих в корни бобовых); поэтому развитие бобовых не зависит от внесения азота с удобрениями или от богатства почвы азотом; мало того, несмотря на большой вынос азота с урожаями, эти растения еще и обогащают почву азотом через корневые остатки, и при разложении этих остатков их азот становится доступным следующим за ними растениям. Но и надземные части таких растений богаты азотом, поэтому они являются ценным кормом для животных, а так как азот кормов переходит в азот навоза, то при этом возрастают одновременно ценность и эффективность навоза.

В этом и состоит главная причина благотворного влияния клевера: при его введении в севооборот не только поле, на котором растет клевер, обогащается непосредственно азотом за счет его корней, но и другие поля обогащаются за счет того навоза, который получается при скармливании клеверного сена; это сено содержит вдвое больше азотистых соединений (белковых веществ), чем сено злаковых (как тимофеевка, лисохвост, костер безостый и пр.), а потому введение клевера позволяет не только иметь больше навоза в хозяйстве, но еще повышается качество этого навоза.

Подобно клеверу, обогащают почву азотом (как прямо, так и через навоз) и другие травы семейства бобовых, как люцерна и эспарцет. Пользуются азотом воздуха также и однолетние бобовые, как вика, горох, бобы, но только эти растения отлагают главную массу азота в зернах, почва же обогащается азотом главным образом при культуре многолетних бобовых, как клевер, люцерна и эспарцет. В противоположность бобовым, все остальные культурные растения (в том числе и злаковые травы, как тимофеевка) не способны использовать азот воздуха, они питаются азотом почвы, а потому истощают почву в отношении азота тем сильнее, чем выше их урожай и чем они процентно богаче азотом.

Таким образом, чередуя культуру азотопотребителей, например хлебов, с культурой азотособирателей, как клевер и люцерна, мы можем

обеспечить хлеба таким количеством азота в почве и в навозе, что в большинстве случаев пока позволяет обойтись без применения под них дорогих азотистых удобрений и приберечь последние только для более требовательных технических культур, как хлопчатник, свекла, конопля, табак, лен и пр.

Также существуют различия между разными культурами и по отношению к потребности в других питательных веществах, как калий, фосфор, известь, хотя эти различия и не столь резки, как в случае азота: ни одно растение не может обогащать почву зольными веществами, все они только берут их из почвы, но берут в разных количествах, с разной глубины и в разной степени возвращают взятое из почвы обратно с навозом.

Разница в непосредственном потреблении питательных веществ для некоторых культур видна из прилагаемой таблицы (в кг/га) [23].

	Фосфор	Калий	Азот
Хлеба (при урожае 15–20 ц)	25	50	50
Картофель (200 ц)	40	140	100
Сахарная свекла (200 ц)	35	150	90
Хлопчатник (20 ц)	35	110	100

Как видно, картофель и свекла уносят раза в три больше калия из почвы, чем хлеба. Но различие это усиливается еще и тем обстоятельством, что, если, например, картофель является заводским сырьем и отходы завода в хозяйство не поступают, то калий, содержащийся в клубнях, окончательно уходит из хозяйства, в случае же хлебов большая часть калия возвращается обратно в почву с навозом, так как большая часть калия находится не в зерне, а в соломе, солома же или служит кормом для животных, или идет в подстилку; в том и в другом случае весь калий соломы попадает в почву. Иначе обстоит дело с фосфором: большая часть его находится в зерне, в соломе фосфора мало, поэтому большая часть фосфора безвозвратно уходит из хозяйства с вывозимым зерном. То же касается, конечно, азота, но если в хозяйстве есть клевер, то есть уже известная компенсация для выноса азота, но нет никакой компенсации для вывозимого фосфора, кроме внесения фосфорнокислых удобрений.

Среди технических культур мы имеем большое разнообразие в отношении истощения почвы питательными веществами; одни из них, при должной постановке их использования, позволяют возвратить почве все из нее взятое, другие же ничего не оставляют в хозяйстве, все уходит на сторону.

Примером первого рода является сахарная свекла: из ее корней извлекается на заводе сахар, который затем вывозится из хозяйства, но сахар не содержит ничего взятого из почвы, в нем нет ни азота, ни фосфора, ни калия, он целиком образуется за счет углекислоты воздуха и воды. Поэтому если отчуждается только сахар, а все сельскохозяйствен-

ные и заводские отходы свеклосахарного производства используются в хозяйстве, то почва ничего не теряет. Для этого нужно употреблять на корм богатые питательными веществами листья сахарной свеклы (свежими, или силосованными, или высушенными), зимой откармливать скот свекловичной резкой (диффузионный жом) и употреблять на удобрение дефекационную грязь, которая получается на заводе при очистке сока сахарной свеклы. Если же и патока служит для кормовых целей (ею сдабривают мякину и соломенную резку при откормке волов), тогда свекла является идеальным растением, не только не истощающим почву, но, наоборот, способствующим поднятию урожаев всех остальных культур в севообороте. Дело в том, что свекла требует глубокой вспашки, большого количества удобрений, она оплачивает все эти затраты сахаром, а так как свекла не выбирает целиком из почвы питательных веществ, внесенных с удобрениями, да еще с навозом возвращается и то количество, которое содержится в свекле, глубокая вспашка также сказывается не на один год,— поэтому введение свекловицы вызывает поднятие урожаев хлебов и всех других культур, входящих в свекловичный севооборот.

Обратное положение мы имеем в случае льна, хлопчатника, табака — эти растения не дают материала для образования навоза и ничего (или почти ничего) не возвращают почве из взятых ими значительных количеств питательных веществ — азота, фосфора и калия; с этим приходится считаться при построении севооборота и противопоставлять этим растениям значительную площадь навозообразующих растений и еще прибегать к помощи минеральных удобрений.

Кроме различий в количестве поглощаемых из почвы питательных веществ имеется различие и другого порядка. Так, одни растения требуют более усвояемых, более растворимых форм питательных веществ, другие же довольствуются менее растворимыми соединениями. Общеизвестно, например, что овес довольствуется почвами менее плодородными, чем пшеница, однако это вовсе не потому, что овес уносит меньше питательных веществ, но он способен заимствовать эти питательные вещества из менее растворимых соединений, чем это нужно для пшеницы. Подобные же соотношения имеют место между свекловицей и картофелем, а есть растения и еще менее требовательные, чем картофель, такова, например, земляная груша. И, наконец, лучше всех других растений мирится с бедными почвами люпин, культура которого является средством мелиорации песчаных почв и поднятия их (при повторном возделывании) до более высокого состояния плодородия. При этом играет роль не только то обстоятельство, что люпин является энергичным азотособирателем, но и еще высокая способность люпина брать пищу из малорастворимых соединений и добывать ее из-под почвы. Так, доказано специальными опытами, что люпин способен брать фосфорную кислоту из таких труднорастворимых фосфатов, которые неусвояемы для ржи и овса, его мощные корни способны проникать в нижние уплотненные горизонты подзолистых почв и там находить себе пищу, которая поступает затем в надземные органы

растения, а когда люпин будет запахан на зеленое удобрение, то при разложении его массы не только азот люпина, но и фосфор, добытый из подпочвы, будет доступен следующей за ним культуре, а по следам отмерших корней люпина вглубь способны проникать и корни злаков.

2. Кроме особенностей в поглощении минеральной пищи, культуры различаются по своему воздействию на *физические свойства почвы*. Одни из них благодаря частым рыхлениям могут вызывать излишнее измельчение почвы (особенно в случае почв, бедных органическими веществами), доходящее до потери структуры, до совершенного распыления ее. Так может действовать, например, бессменная культура картофеля, связанная с неоднократной обработкой междурядий (мотыжение и окучивание) и с рыхлением почвы при копке картофеля и при бороновании для обнаружения невыбранных клубней. При последующем смачивании дождями такая почва легко сплывается в сплошную массу и при вспашке дает трудно разрыхляемые глыбы.

Также и бессменная культура кукурузы, которая встречается у нас в Закавказье, может оказывать ухудшающее влияние на почвенную структуру. На одной из американских станций сравнивалось состояние почвы при вспашке кукурузного поля, бывшего в бессменной культуре, и соседнего поля, также бывшего под кукурузой, но в севообороте с участием люцерны. В первом случае это были сплошные глыбы, вроде тех, какие получаются при вспашке солонца, а во втором случае наблюдалась хорошая крупитчатая структура.

Многолетние травы, в противоположность пропашным культурам, существенно улучшают структуру почвы; причем у бобовых, в отличие от злаковых, в этом случае соединяются два полезных влияния, именно улучшение структуры и обогащение почвы азотом. Поэтому клевер и люцерна при нормальном развитии являются гораздо лучшими предшественниками, чем многолетние травы из семейства злаковых, как это видно из следующего примера (данные Сумской опытной станции).

Урожай (в ц/га)	По эспарцету	По люцерне	По клеверу	По костру
Овес	20,3	18,0	18,8	10,4
Ячмень	16,7	–	15,2	6,0

По данным Безенчукской станции, урожай пшеницы после трав изменялся так:

Урожай (в ц/га)	По люцерне	По житняку	По костру	По смеси люцерны со злаками
Твердая пшеница	13,2	8,2	7,9	11,7
Мягкая »	13,0	9,0	8,6	11,3

Как видно, после люцерны урожаи были значительно выше, чем после злаковых трав (и по чистой люцерне выше, чем по смеси люцерны

со злаками), несмотря на то что полезное влияние злаковых на структуру почвы значительно.

Корневая система трав, проникая внутрь почвы и пронизывая ее многочисленными разветвлениями, не только механически, своим давлением разделяет почву на отдельные комочки, но при разложении корней эти комочки пропитываются перегноем, благодаря чему увеличивается прочность строения почвы, т. е. способность противостоять размывающему действию дождя.

Благоприятное влияние корневой системы клевера и люцерны на структуру почвы является общеизвестным, но обычно в полевом опыте трудно отделить эту сторону влияния от влияния на азотный баланс почвы.

Однако имеются весьма рельефные опыты Носовской станции, показывающие, что при внесении минеральных удобрений и навоза под свеклу и хлеба получается большая прибавка урожая, если предшественником был клевер; это можно объяснить только улучшающим влиянием клевера на структуру почвы и водный режим.

Влияние трав часто не ограничивается влиянием на пахотный слой, но сказывается и на подпочве. Так, на подзолистых почвах клевер, проникая своей корневой системой вглубь, обогащает подпочву перегноем и способствует созданию более глубокого культурного слоя почвы. Также на солонцеватых почвах люцерна своей глубоко идущей корневой системой разрыхляет уплотненный подпахотный горизонт и тем самым создает лучшие условия для следующих за нею хлебов.

Кроме влияния на структуру почвы, разные культуры различаются также по их влиянию на влажность оставленного ими поля. Потребность растений в воде неодинакова; принято измерять ее количеством испаряемой воды по расчету на одну весовую единицу образуемого растением сухого вещества. В этом отношении имеются заметные различия даже для растений одного и того же семейства: так, кукуруза, просо и сорго тратят около 200 единиц воды на единицу сухого вещества, а пшеница и ячмень расходуют воду гораздо менее экономно, они тратят 400 и более единиц воды. Благодаря междурядному мотыжению самая поверхность почвы при культуре кукурузы испаряет меньше воды, чем почва неразрыхленная. По этим причинам культура кукурузы дает более устойчивые результаты в засушливом климате, чем культура пшеницы.

Наоборот, клевер и люцерна обладают бóльшими коэффициентами испарения; они требуют 600—800 единиц воды на образование единицы сухого вещества, а так как люцерна может давать на юге несколько укосов в лето, то ее глубоко идущая корневая система может к концу лета высушить не только почву, но и подпочву.

Поэтому при отсутствии орошения люцерна в областях, не изобилующих осадками, может оказаться плохим предшественником для озимых хлебов, несмотря на создаваемую ею превосходную структуру почвы, и приходится после нее помещать яровые хлеба, для которых зимние

осадки могут создать достаточный запас влаги (а особенно этому способствует оставление поля в пару).

Также и клевер, после которого в Киевской и смежных областях (как и во всей Западной Европе) прекрасно удаются озимые хлеба, при движении к востоку становится хорошим предшественником уже только для яровых хлебов. По другой причине то же явление мы наблюдаем при движении к северу. Так, в Московской области, если не скосить клевер пораньше, клеверная дернина может не успеть разложиться к посеву озимых, подготовка почвы этим затрудняется, и приходится предпочесть посев яровых. Таким образом, правила чередования растений сильно зависят от местных климатических и почвенных условий.

3. Далее, помимо вышеуказанных причин химического и физического порядка, вызывающих необходимость определенного чередования культур, имеются причины *биологического* порядка — это различное отношение растений к паразитам, к вредителям из животного царства и к сорным травам.

В целом ряде случаев не только бессменная культура, но даже частое возвращение растения на то же поле делается невозможным вследствие заражения почвы паразитными организмами, приуроченными к определенному растению-хозяину. Так, при попытках возделывания сахарной свеклы на постоянных плантациях быстро обнаружилось размножение очень мелких червей (нематод), питающихся соками корней свеклы и вызывающих падение урожая корней и их малую сахаристость. Только введение севооборота при условии чередования свеклы с растениями, не повреждаемыми нематодами, позволяет восстановить нормальные урожаи, да и то при условии известного ограничения процента площади, отведенной под свеклу.

То же имеет место при культуре подсолнечника; когда у нас стала распространяться в прошлом столетии (особенно в бывшей Воронежской губернии) бессменная культура этого растения, то там размножилась заразиха [6*] — паразит из высших растений, присасывающийся к корням подсолнечника, так что на каждом экземпляре сидело по нескольку экземпляров заразихи. В этих случаях получаются жалкие, истощенные растения с мелкими шляпками. Опять и здесь главным средством борьбы с заразихой явилось временное прекращение культуры подсолнечника и затем возобновление ее в правильном севообороте.

В других случаях явления специфического «утомления почвы», как клевероутомление, льноутомление, вызываются паразитными грибками; эти растения также нельзя слишком часто возобновлять на том же самом поле. Правда, некоторые случаи клевероутомления объяснены были недостатком фосфорной кислоты в почве или слишком кислой реакцией ее. Тем не менее при внесении любых удобрений и при устранении кислой реакции почвы не удается даже на опытных полях произвести опыт с бес-

[6*] Ее же называют волчком.

сменной культурой клевера; вскоре среди сравнительно благополучных делянок с картофелем, овсом и рожью появляется черное пятно (если сорные травы удаляются полкой) — это делянки с бессменной культурой клевера. Тот же результат получается на делянке с бессменным посевом льна — никакие удобрения не помогают. Но стоит дезинфицировать почву химическими приемами, как на той же самой почве лен начинает отлично расти. Однако обрабатывать почву химически можно на опытном поле, в производстве же наиболее верным и дешевым средством является введение правильного севооборота с не слишком частым возвращением льна на то же самое место.

Насекомые, вредящие культурным растениям, тоже имеют свои излюбленные объекты. Так, при переразвитой культуре сахарной свеклы свекловичный долгоносик так размножается, что борьба с ним становится трудной, и нередко приходится пересевать свеклу, излишне прореженную жуком. Особенно резкий пример размножения определенного вредителя был в практике хлопкового хозяйства США: в период «хлопковой горячки» в южных штатах фермеры так расширили посевы хлопчатника, что местами дело дошло до монокультуры, т. е. ничего, кроме хлопчатника, не сеяли и вели хозяйство на покупных кормах. Но вот появился мексиканский долгоносик и стал отвоевывать каждый год штат за штатом; в конце концов он прошел через весь хлопковый пояс до его восточной границы. Тогда фермерам пришлось восстановить правильные севообороты, чередовать хлопчатник с люцерной и хлебами (без чего нельзя иметь даже навоза), и в поучение потомству в одном из городов штата Алабама поставлен был памятник долгоносику с иронической благодарностью «за науку — от лица фермеров-хлопководов».

Подобные случаи встречаются не только при возделывании технических культур, но и обычных зерновых хлебов. У нас в Среднеазиатских республиках, как, например, в Киргизии, при однообразных посевах пшеницы, в некоторые годы наблюдалось такое размножение «вредной черепашки», что хозяйство оставалось без хлеба; между тем при введении, кроме пшеницы, растений, не повреждаемых черепашкой (кукуруза, просо, картофель), легко было бы достигнуто страхование суммарного урожая от подобных невзгод.

Сорные травы также сильнее размножаются при однообразной культуре, чем при правильном чередовании растений. Хотя здесь нет той резко выраженной специфичности, приуроченности к строго определенному растению, но все же сорные травы приспособляются к общему типу культуры, и, например, у льна имеются свои излюбленные сорняки, у озимых также имеются свои спутники. Хотя рожь, хорошо кустящаяся с осени, вообще говоря, лучше справляется с сорными травами, чем озимая пшеница, но зимующие сорняки, сходные по типу развития с рожью, как ржаной костер, василек, метла, все-таки могут значительно размножаться; поэтому при опытах бессменной культуры ржи, даже при внесении удобрений, происходит падение урожаев именно от размноже-

ния сорняков (при этом это падение урожаев гораздо сильнее сказывается, например, в условиях Москвы, чем под Полтавой, потому что, чем севернее, тем меньше остается времени для обработки почвы между уборкой озимых и посевом). Более, чем рожь, может засоряться озимая пшеница, медленнее развивающаяся с осени, и если Ротамстедская опытная станция (в Англии) ведет уже 100 лет опыты с бессменной культурой озимой пшеницы, то это было возможно только благодаря применению ручной полки, и все-таки известное падение урожая произошло, несмотря на обильное применение удобрений. Вот выборочные данные опыта.

Урожай зерна озимой пшеницы (в ц/га)	1882—1891 гг.	1902—1911 гг.	1912—1921 гг.	1922—1931 гг.
По навозу	34,3	31,5	23,1	19,8
По минеральным удобрениям	34,5	33,8	23,5	21,0 *

* Перевес действия минеральных удобрений над действием навоза получается тогда, когда количество азота в них составляет не менее $^2/_3$ количества азота, вносимого с навозом.

Между тем при проведении такого же опыта с яровыми хлебами вредное влияние бессменной культуры было выражено не так сильно.

Культура яровых частично освобождает почву от сорняков озимого типа, если осенью обработка после уборки яровых ведется правильно. Наоборот, ряд сорняков, сопутствующих яровым посевам, усиленно размножается, если культура яровых повторяется; таковы овсюг, дикая редька. Эти сорняки, в свою очередь, подавляются при культуре озимых, потому что всходы их, появившиеся осенью вместе с озимыми, зимой гибнут, а всходы, появляющиеся весной, подавляются озимыми (они гибнут от затенения при густом стоянии хорошо раскустившейся озими).

В еще большей мере, чем чередование озимых и яровых, помогает введение в севооборот пропашных растений и трав: первые благодаря редкому размещению позволяют вести междурядную обработку, при которой всходы сорняков уничтожаются, а вторые, наоборот, благодаря густому стоянию глушат сорные травы. А для тех из них, которые не заглушены, затруднено образование семян, так как травы скашиваются раньше, чем большинство сорняков успеет дать семена.

При одном из опытов (Казанский сельскохозяйственный институт) учет количества [побегов] сорных трав на 1 кв. м при возделывании различных культур в севообороте и без него обнаружил такие различия.

	Севооборот	Бессменная культура		Севооборот	Бессменная культура
Рожь	200	1100	Просо	600	9900
Овес	500	5700	Картофель	300	400

Как показывают цифры, при бессменной культуре засоренность резко возрастает; кроме того, видно, что рожь и картофель менее засоряются, чем овес и просо, а картофель занимает первое место среди всех расте-

ний по относительной чистоте поля от сорняков и при бессменной культуре.

4. Кроме перечисленных причин естественноисторического порядка, имеются еще и *экономические основания* предпочитать плодосмен однообразной культуре. Сюда относится прежде всего более равномерное распределение работ во времени; всем известно, что при однообразной культуре хлебов период уборки был очень напряженным, недаром это время называется страдой. При введении плодосмена площадь под хлебами уменьшается при одновременном повышении их урожая, а возрастание площади под пропашными если и создает добавочный труд по междурядной обработке, то этот труд ложится на время, свободное от работы на полях, занятых хлебами, а ко времени уборки хлебов работы по уходу за пропашными заканчиваются. Уборка пропашных приходится на сентябрь или октябрь, смотря по широте местности, во всяком случае — на время, когда хлебные поля не требуют никакой работы.

Наличие травяного и пропашного клиньев также создает известное равновесие. Так, например, в животноводческом хозяйстве Дании такая трудоемкая культура, как кормовые корнеплоды, занимает 20% посевной площади. Но так как имеется одновременно 35% площади под клевером, то большая трудоемкость культуры корнеплодов смягчается тем, что травы требуют сравнительно мало труда, а обилие кормов позволяет продуктивно использовать зимнее время для ухода за откармливаемыми животными. Датский тип, конечно, не может быть для нас общим образцом (так как там хлебами занято лишь 45% посевной площади), но все же наличность свекловичных, картофельных и клеверных полей в том масштабе, как запланировано Наркомземом для наших севооборотов, имеет уже большое значение в деле создания большей равномерности распределения работ, чем это имеет место при чисто зерновом хозяйстве.

Организация удобрения в хозяйстве тесно связана с должным чередованием навозообразователей и навозопотребителей, между которыми должно соблюдаться известное равновесие. Как уже отмечалось, лен и хлопчатник не дают почти никакого материала для образования навоза, а потому при отведении для них значительных площадей необходимо противопоставлять им должную площадь кормовых растений. Но так как для образования навоза необходимы не только корма, но и подстилка, а солома из-за громоздкости не выносит перевозки на большие расстояния, то приходится сохранять культуру озимых хлебов даже тогда, когда зерно, казалось бы, выгодно привозить со стороны. Этот случай, помимо хлопкового хозяйства, наблюдается вблизи больших городов, в районах молочно-овощного хозяйства, где среди ценных огородных культур удерживается такая дешевая культура, как рожь как незаменимая подстилочная культура. Это наблюдается как вблизи Москвы, так и под Нью-Йорком; так тождественность местных экономических условий вызывает одни и те же черты в структуре пригородных хозяйств двух противоположных полушарий.

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЛЕВОДСТВА ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ТРЕХПОЛЬЯ К ПЛОДОСМЕНУ

Исторический опыт Запада наглядно показал, какое повышение производительности труда в земледелии дает переход от прежних чисто зерновых севооборотов к плодосмену. Дело в том, что, в то время как у нас теперь одновременно с переходом к улучшенным севооборотам проводятся механизация и химизация земледелия, в Западной Европе введение плодосменных севооборотов происходило много раньше (лет за 100), чем появились минеральные удобрения и тем более тракторы. Поэтому можно, следя за движением урожаев по периодам, видеть, как отозвалась на них перестройка севооборота как таковая и что потом прибавило введение минеральных удобрений на фоне плодосмена. Именно мы имеем такие последовательные изменения урожайности, как бы три ступени воображаемой лестницы для экономически развитых стран Запада (Бельгия, Голландия, Англия). Урожаи пшеницы (в ц/га) в период зернового трехполья (до конца XVIII столетия) составляли 7—8, в период господства плодосмена (1840—1880 гг.) — 16—17, после введения минеральных удобрений на фоне плодосмена (1900—1930 гг.) — 25—30.

Как видим, введение плодосмена удвоило урожаи хлебов по сравнению с трехпольем, причем наибольшая роль в этом принадлежит клеверу, а введение минеральных удобрений на фоне клевера учетверило их.

Но одним повышением урожаев хлебов не ограничивается поднятие общей продуктивности полеводства, так как: 1) при этом еще на 50% возросла посевная площадь (при трехполье на посевы приходилось 66% площади пашни, а после исчезновения паровых полей — 100%); 2) картофель и корнеплоды дают втрое больше (считая на сухое вещество) переваримых веществ с гектара, чем хлеба.

Если учесть все эти обстоятельства и перечислить все урожаи в зерновые единицы, то окажется, что во второй период продуктивность одного гектара возросла в 4 раза, а в третий период — в 8 раз по сравнению со средневековым трехпольем.

Пересчет этот делается следующим образом: в корнеплодах и картофеле из расчета исключается вода и учитывается только сухое вещество, которое по питательному значению приравнивается к зерну; так как в картофеле в среднем содержится $^1/_4$ сухого вещества и $^3/_4$ воды, то урожай клубней делится на 4; в корнеплодах содержится от $^3/_4$ до $^4/_5$ воды (в сахарной свекле меньше, в кормовой больше), поэтому урожай корней делится на 4 или на 5, смотря по содержанию воды. Например, в одном хозяйстве средний урожай пшеницы составлял 20,5 ц, а сахарной свеклы — 275 ц; но зерно пшеницы содержит 86% сухого вещества, а сахарная свекла содержала в этом случае около 22% сухого вещества; поэтому гектар свеклы давал 63 ц сухого вещества, по пита-

тельности равноценного зерну, а пшеница — 18 ц, или сахарная свекла давала в 3,5 раза больше зерновых эквивалентов с гектара, чем пшеница.

Для кормов показатели различны: например, урожай клеверного сена для перечисления в зерновые единицы делят на 2,5, урожай соломы на 4 или на 5, смотря по тому, идет ли речь о соломе яровых или озимых хлебов. Если по этому способу подсчитать продуктивность трехпольного зернового севооборота (I) и четырехпольного севооборота с клевером и картофелем в первый же год пользования клевером (II), то получим такие итоги.

Количество зерновых единиц (в ц/га)	Пищевых	Кормовых и пищевых в сумме
I. При трехполье	4,3	5,9
II. При четырехполье	9,4	15,4
III. До введения минеральных удобрений	19	29
IV. После их введения	38	52

Таким образом, еще до того, как клевер прошел по всем полям севооборота, продуктивность на гектар более чем удвоилась.

Теперь подсчитаем продукцию для того периода, когда клевер не один раз пройдет по всем полям и вызовет удвоение урожаев хлебов (III) и когда уже можно ввести в севооборот корнеплоды, и, наконец, определим урожай продукции для периода, когда, кроме плодосмена, введены минеральные удобрения и урожай поднялся до уровня современных урожаев в Бельгии и Голландии (IV).

Эти цифры приблизительно отвечают четверной (III) и восьмерной (IV) продукции при плодосмене при сравнении с трехпольем.

Итак, история земледелия в Западной Европе не только доказала в общей форме полезность чередования трех главных типов культур (хлеба, пропашные, клевер), но выявила и размеры повышения продуктивности полеводства под влиянием плодосмена.

РАЗНООБРАЗНЫЕ ФОРМЫ ПЛОДОСМЕННЫХ СЕВООБОРОТОВ

Приведенные подсчеты относятся к типичному плодосменному севообороту — норфолькскому четырехполью, сыгравшему главную роль в поднятии земледелия в Восточной Англии, Голландии, Бельгии и Северной Франции. Но, как мы уже упоминали, при движении к востоку первичная форма плодосменного севооборота подвергалась видоизменениям. Чаще всего к четырем основным полям дополнялись поля зерновых культур, так как в хозяйствах незаводского типа и без такого преобладания животноводства, как в Англии, оказывалось излишним иметь 25% площади под корнеплодами или картофелем. Так, в Германии Тэер ввел такое видоизменение плодосменного севооборота: 1) картофель; 2) яровое;

3) клевер; 4) озимое; 5) горох; 6) озимое. Тем более у нас при более континентальном климате часто появляется потребность в изменении этой основной формы и не только путем добавления зерновых клиньев, но, по ранее изложенным соображениям, вместо скрытого английского пара (осеннего, после уборки озими) приходится вводить явное паровое поле перед озимью. Но все же основное звено норфолька является обычным компонентом наших севооборотов, особенно в свекловичных хозяйствах, как, например:

1		2		3		4	
свекловица		пар		пар		пар	
яровое	*	озимь		озимь		озимь	
клевер		свекла		свекла		свекла	
озимь		яровое	*	яровое	*	яровое	
зерновые		клевер		клевер		клевер	**
бобовые		озимое		озимое		клевер	
овес		яровое		свекла		озимое	
						яровое	

* Это звено повторяет норфолькское четырехполье.

** Здесь английское пятиполье является составной частью восьмиполья.

В первом случае мы имеем вполне типичный плодосмен, в котором к четырем основным полям добавлено два зерновых поля, но с соблюдением чередования разных культур (бобовое и злаковое), пар отсутствует. Во втором и в третьем случаях основному четырехпольному звену предпосылается столь важное в наших условиях звено «пар — озимь», а кроме того, делаются надстройки и в конце севооборота [7*].

В этих трех случаях имеет место однолетнее пользование клевером, при сохранении классического, типичного для мягкого климата звена «клевер — озимь», причем, естественно, с возрастанием общего числа полей (с 6 до 8) процент площади под клевером снижается до 16 и 12 (вместо 25 в норфолькском прототипе), процент пропашных уменьшается в той же мере, как для клевера в первом и во втором случаях, а в третьем он опять возрастает до 25 вследствие введения второго поля свеклы.

[7*] Является недоразумением мнение, высказываемое некоторыми авторами, будто плодосменными называются только те севообороты, в которых сполна отсутствует пар — вся история продвижения плодосменных севооборотов с запада на восток опровергает это; так, Тэер, больше всех сделавший для введения плодосменных севооборотов в Германии, вовсе не был педантичным в этом отношении, и в списке плодосменных севооборотов у него фигурирует между прочим и 10-польный плодосменный севооборот, в котором имеется звено «пар — рожь» (см.: Тэер. Основания рационального сельского хозяйства, т. II, стр. 210).

Ниже приводятся примеры наших современных севооборотов плодосменного типа с наличием 12,5% пара и 12,5% пропашных, причем на долю остальных трех звеньев плодосмена (клевер, озимые и яровые хлеба) приходится по 25% посевной площади.

Однако, как уже отмечено, вполне возможно сохранить типичную для плодосмена долю площади под клевером (25%), если в восьмипольном севообороте сеять клевер один раз, но пользоваться им два года (что дает экономию в семенах клевера). При этом обычно приходится добавлять к клеверу тимофеевку, так как на второй год пользования клевер часто изреживается (там, где это не наблюдается, как, например, в некоторых районах Приуралья и Сибири, там в примеси тимофеевки нет надобности).

Такое восьмиполье может сохранять то же самое соотношение между культурами, какое типично для основного плодосменного четырехполья, т. е. по 25% под клевером и пропашными и 50% под хлебами. Однако это возможно только при мягкой осени, где можно после пропашных (хотя бы после картофеля) сеять озимь, на севере же часто приходится одно из двух пропашных заменять паром.

Как уже говорилось, в типичной форме такое восьмиполье на Западе весьма распространено в Дании. У нас оно в этом виде вполне применимо прежде всего на юге, например на Кубани, в Киргизии и других южных республиках, в зоне, лежащей к северу от хлопковой зоны. При этом имеет место такая последовательность: 1) пропашные; 2) яровое; 3) травы; 4) травы; 5) озимь; 6) пропашные; 7) озимь; 8) ярь (желательны зерновые бобовые).

На Кубани в качестве пропашных могут возделываться сахарная свекла, кукуруза, подсолнечник и клещевина. В орошаемом хозяйстве Киргизии важную роль играет сахарная свекла, до сих пор не введенная как следует в рамки севооборота. В числе рекомендуемых севооборотов там указывается и восьмиполье с такой последовательностью: 1) сахарная свекла; 2) пшеница; 3) люцерна; 4) люцерна; 5) пшеница; 6) свекла; 7) бобы; 8) озимая пшеница.

В средних и особенно в северных областях, как сказано, приходится обычно вводить пар перед озимым [8*] и потому выпадает одно из двух полей с пропашными культурами (см. севооборот 4 на стр. 389), затем часто приходится давать место льну, находящему лучшее место по клеверищу. Тогда получаем, например, такой севооборот: 1) пар; 2) озимь; 3) картофель; 4) ярь; 5) клевер; 6) клевер; 7) лен; 8) овес. Здесь опять 3—7 полей представляют как бы удлиненный норфольк (английское пятиполье), но с заменой озими льном: иногда одна половина поля занимается льном, другая — озимью.

Другой случай: 1) пар; 2) озимь; 3) ярь; 4) клевер; 5) клевер; 6) лен (или озимь); 7) картофель; 8) овес. Здесь последовательность уже иная,

---

[8*] Однако во многих случаях, когда культивируются ранние сорта картофеля для сбыта в городские центры, возможен посев ржи после картофеля, тогда и в нечерноземной полосе осуществляется восьмиполье без пара того же типа, как в Дании: картофель, яровое, клевер, клевер, озимь, картофель, озимь, ярь, или: картофель, озимь, клевер, клевер, ярь, картофель, озимь, ярь.

норфолькского звена не сохранилось, но все-таки хорошо выдержано правило плодосмена относительно чередования разнородных культур. Если хотят иметь меньше пропашных, то во избежание излишнего удлинения всего севооборота прибегают к частичному делению полей пополам, как, например, в следующем семипольном севообороте (Московская область): 1) пар; 2) озимь; 3) $^1/_2$ ярь, $^1/_2$ пропашные; 4) $^1/_2$ клевер, $^1/_2$ вика с овсом; 5) $^1/_2$ клевер, $^1/_2$ озимь; 6) лен; 7) яровое.

В приведенных примерах клевер подсевается под яровое, если же предпочитают подсевать его под озимое, то возможны такие севообороты: пар, озимь, клевер, клевер, лен, картофель, овес.

Реже прибегают к более длинному девятиполью, например: 1) пар, 2) озимая пшеница; 3) клевер; 4) клевер; 5) яровая пшеница; 6) вика с овсом; 7) озимая рожь; 8) картофель; 9) овес. Такое девятиполье принято, например, в колхозе «Победа» (Дмитровский район Московской области), который отличается хорошими урожаями.

Вблизи городов, где значителен спрос на картофель и молоко, встречаются схемы, в которых при двух клеверных и двух картофельных полях выпадает часть зерновых, как, например, в следующем шестиполье без пара: 1) картофель; 2) озимь; 3) клевер; 4) клевер; 5) картофель; 6) яровое.

Но будет ли число полей отвечать удвоенному четырехполью (т. е. равняться 8) или только удлиненному до шестиполья,— принцип плодосмена, состоящий в чередовании культур с противоположными свойствами, по возможности сохраняется [9*].

Мы видели, что в случае клевера желание использовать его (в смеси с тимофеевкой) в течение двух лет вместо одного года, не увеличивая процента площади под травами, привело к удвоению числа лет ротации и к удвоению числа полей (доведение до восьми вместо четырех). Нечто подобное замечается в случае люцерны, которая способна давать укосы в течение трех лет (а в благоприятном климате до 7—8 лет).

[9*] Бывают особые случаи, когда встречаются севообороты без зерновых хлебов (или с очень малой их долей); это имеет место, когда мы имеем дело не с основным севооборотом, а с вспомогательным, с так называемым прифермским севооборотом, создаваемым специально для обслуживания скотного двора. К созданию таких севооборотов имеются двоякие основания: сочные корма, с большим содержанием воды невыгодно возить на большие расстояния (таковы корнеплоды, зеленые корма, как вика с овсом, кукуруза и другие растения, на которых строится при кормлении молочного стада зеленый конвейер). Такие силосные растения выгоднее выращивать ближе к силосной яме. Но, кроме вопроса транспорта, есть еще следующий довод за создание в крупных колхозах более интенсивного прифермского севооборота: как корнеплоды, так и подсолнечник на силос и кукуруза на зеленый корм требуют почв с высоким уровнем плодородия, которого гораздо скорее можно достигнуть на приусадебных землях путем сильного унавоживания, чем поднять плодородие почвы на всей площади колхозных полей до уровня, позволяющего получать хорошие урожаи корнеплодов. Иногда, наряду с кормами, в прифермский севооборот входят и овощи, например: 1) и 2) овощи; 3) корнеплоды и силосные растения; 4) вика с овсом; 5) клевер на зеленый корм.

Есть два способа избежать преждевременной распашки люцернового клина — это или утроение числа полей, или культура люцерны в выводном клину, который возвращается в севооборот через бо́льшие промежутки, чем сроки чередования остальных культур между собой [10*].

Если, например, люцерну невыгодно перепахивать раньше чем через 3 года, а в то же время не хотят иметь под ней больше чем 25%, как это типично для плодосменных севооборотов, то приходится удлинить севооборот до 12 лет. Но так как 12 лет все-таки большой срок, то у нас чаще прибегают к 9-летним севооборотам, допуская повышение площади под люцерной до 33%; так, например, в орошаемом хозяйстве Киргизии и Казахстана встречаются такие севообороты: 1) свекловица; 2) пшеница; 3—5) люцерна; 6) пшеница (или свекла); 7) яровое; 8) бобы (или пар); 9) озимь.

Иногда же идут на то, чтобы пользоваться люцерной лишь два года, тогда получается тот же восьмипольный севооборот, как и в клеверной зоне на севере, и по соотношению площадей под травами, корнеплодами и хлебами такой восьмипольный севооборот совершенно отвечает прообразу плодосменных севооборотов — норфолькскому севообороту, но с удвоенным числом полей [11*].

[10*] Примером пользования выводным клином может служить следующее «четырехполье», принятое в свекловичных хозяйствах Франции: свекловица, овес, озимая пшеница, люцерна (выводной клин). В этом случае три растения ежегодно меняются своими местами, а люцерна остается на том же поле 7—8 лет. Перед тем как ее перепахать, подсевают люцерну под овес, и на следующий год это поле становится выводным (люцерновым) клином. Но в то время как во Франции этот способ использования люцерны является излюбленным, у нас в хлопково-люцерновых севооборотах он встречает отрицательное отношение. Причина столь различного отношения заключается в следующем: французский севооборот включает 50% площади под хлебами, поэтому обилие соломы и люцерны (дающей 4 укоса) позволяет иметь много навоза, обеспечивающего ежегодное получение высоких урожаев свеклы и хлебов. У нас же в Средней Азии в хлопково-люцерновых севооборотах до сих пор отсутствовали хлеба, и потому не было соломы, не было правильного приготовления навоза, использовался преимущественно азот корневых остатков люцерны; при таком почти безнавозном хозяйстве, конечно, выводной клин привел бы к слишком большой неравномерности урожаев хлопчатника в различные годы. Так, одно и тоже мероприятие находит различную оценку в зависимости от условий, при которых оно применяется.

[11*] Несколько иначе сложились соотношения в наших хлопковых севооборотах Средней Азии: так как район возможной хлопковой культуры у нас ограничен климатическими условиями и пределами орошаемой площади внутри известной климатической зоны, то пришлось пойти на очень большое насыщение севооборотов хлопчатником, причем был допущен перегиб в сторону приближения к монокультуре, именно в девятипольном севообороте за тремя годами люцерны следовали 6 лет хлопчатника. Хотя люцерна является очень хорошим предшественником для хлопчатника, однако за 6 лет наблюдается постепенное снижение урожая, для борьбы с которым приходится применять большие количества минеральных удобрений, особенно азотистых. Дело в том, что при названном севообороте используется как следует только азот корневых остатков люцерны, азот же надземных частей (которые при четырех укосах в лето содержат значительно больше азота, чем корни) в значительной степени пропадает напрасно, так как при отсутствии хлебов в севообороте нет соломы,

ТРАВОПОЛЬНЫЕ СЕВООБОРОТЫ

Особую группу представляют многопольно-травяные или травопольные севообороты[12*], в которых травы являются ведущей культурой, что связано с односторонним животноводческим направлением хозяйства.

У нас в типичной форме севообороты эти мало представлены, но они являются преобладающими, например, в Швейцарии, где влажный климат благоприятствует росту трав, а экономические условия позволяют отводить лишь небольшой процент площади под хлеба (Швейцария пользуется преимущественно привозным зерном) и переносить центр тяжести на животноводство. Так как значительное число травяных полей означает и длительное пользование травами (6 лет), то в травосмесях отводится видное место злакам. Преобладающим в Швейцарии является такой севооборот с 66% площади под травами: 1) вико-овсяный пар; 2) озимь; 3) яровое; 4—9) травяные смеси.

Чтобы травосмесь могла сохранить продуктивность в течение 6 лет, приходится прибегать к сложным смесям; главными растениями являются клевер, тимофеевка и ежа, причем сначала большая часть продукции обусловливается клевером, затем (на 3-й и 4-й годы) на первое место выступает тимофеевка, а на 5-й и 6-й годы травостой состоит исключительно из ежи.

При обильном удобрении навозной жижей эти травяные клинья дают в климате Швейцарии по 4 укоса в лето (для выгона эти интенсивные

необходимой для правильного хранения навоза и удержания навозной жижи; последняя стекает на сторону, разлагается и теряет азот, улетучивающийся в виде аммиака.

Для борьбы с этим явлением в последние годы введен был на орошаемых землях зерновой клин, а так как в Средней Азии можно снять два урожая в лето, то за зерновыми растениями можно поместить пропашные или бобовые культуры, тогда получится такая последовательность: 3 года люцерны, 3 года хлопчатника, на 7-й год зерновые хлеба+пожнивные культуры (картофель, джугара, маш), затем 2 года хлопчатника. Хотя при этом севообороте получается 5 урожаев хлопчатника вместо 6, но зато под влиянием навоза урожаи хлопчатника должны повыситься, а кроме того, в 7-м поле возможен сентябрьский посев озимого гороха для запашки весной под хлопчатник в качестве зеленого удобрения, что должно существенно повысить урожай хлопчатника в 8-м поле. Такое введение элементов плодосмена должно оздоровить культуру хлопчатника, помочь ему справляться с заболеваниями и не только поднять урожаи хлопчатника, но еще и дать добавочные сборы зерновых, дающих высокие урожаи на орошаемых землях.

[12*] У нас часто неправильно применяют слово «травополье» в смысле полевого травосеяния вообще, без всяких подразделений; такая переделка терминологии, помимо ее произвольности и несогласия с общепринятыми обозначениями (см. основные руководства Людоговского, Советова, Ермолова, а также книги Шишкина, Скворцова, Вернера), приводит еще к ряду неудобств: так, при этом остаются без названия как настоящие травопольные севообороты с высоким процентом трав, так и наиболее прогрессивный и жизненный тип севооборотов с травами, т. е. плодосмен.

Самая мысль о том, будто имеется какой-то один тип севооборотов, пригодный «во все времена и у всех народов», является антидиалектичной — таких универсальных севооборотов нет и быть не может.

угодья не используются). Поэтому швейцарские травопольные севообороты нельзя смешивать с *выгонными севооборотами* Голштинии и Мекленбурга, как это иногда делается.

Такие севообороты с высоким процентом трав, действительно заслуживающие названия травопольных, у нас встречаются преимущественно тогда, когда хозяйство имеет два севооборота: один главный, принадлежащий к плодосменному типу, а другой — вспомогательный, лугопастбищный севооборот, специально приспособленный для получения кормов, причем для него отводятся более влажные участки. Вот пример такого севооборота (Уваровский район Московской области): 1) корнеплоды (и силосные растения); 2) овес с подсевом трав; 3—7) травы; 8) лен.

В этом севообороте на травы приходится 62%, причем характерно, что в нем совсем нет озимого клина, несмотря на усиленную потребность в подстилке при развитом животноводстве. Но это возможно именно потому, что такой севооборот не является самостоятельным, и солома для подстилки доставляется не вспомогательным, а основным севооборотом.

СЕВООБОРОТЫ БЕЗ МНОГОЛЕТНИХ КОРМОВЫХ ТРАВ

В предыдущем разделе мы рассматривали севообороты с разным процентом площади под травами, но бывают случаи (помимо прежнего трехполья), когда многолетние травы вовсе не входят в севооборот. Это приходится допускать только при особых природных условиях[13*], притом в двух противоположных случаях, а именно, с одной стороны, на бедных песчаных почвах, а с другой — на еще невыпаханных черноземах и каштановых почвах в засушливой полосе.

На бедных песчаных почвах клевер не растет, вообще в этих условиях хозяйство страдает от недостатка кормов и навоза, основным приемом поднятия плодородия почвы является культура люпина на зеленое удобрение или культура люпина на зерно, так как в последнем случае даже в корневых остатках этого растения, способного хорошо расти на песчаных почвах, содержится значительное количество азота, да и солома люпина при должном использовании дает навоз, более богатый азотом, чем ржаная солома. Кроме люпина, на песчаных почвах часто удается еще сераделла, которую благодаря мелким семенам можно подсевать под рожь, тогда осенью того же года получается укос богатой азотом массы, пригодной не только на зеленое удобрение, но и на корм (это удается в Черниговщине и в Белоруссии).

[13*] Бывают экономические условия, делающие культуру трав невозможной; таково мелкое крестьянское земледелие без скота в Китае и Японии («мотыжное земледелие»), в котором азотособиратели представлены только пищевыми бобовыми (соя), а для удобрения используются фекальные массы, рыбные туки и зеленое удобрение (как вставочная культура на позднюю осень и зиму).

С люпином возможны, например, такие севообороты.

1	2
Люпин на зеленое удобрение	Люпин на зерно *
Рожь+сераделла	Картофель (ранний сорт)
Картофель	Рожь+сераделла
Овес	Овес

* При этом заслуживает внимания так называемый «сладкий» (вернее — негорький) люпин, зерно которого является ценным концентрированным кормом и хорошим дополнением к картофелю при откорме свиней

В более северных районах возможна культура люпина на зеленое удобрение в пару, но пожнивная культура люпина и подсев сераделлы отпадают, так же как и культура люпина на семена.

При повторении севооборота в этих случаях происходит постепенное обогащение песчаных почв азотом и органическим веществом, и урожаи становятся выше с каждой ротацией. При применении наиболее дешевых минеральных удобрений (фосфоритная мука и калийная соль) можно с помощью люпиновых севооборотов довести почву до способности давать удовлетворительные урожаи клевера, и тогда возможен переход к типичному плодосмену с многолетними травами.

В местностях с мягкой осенью возможен даже двухлетний ржано-картофельный севооборот с пожнивной культурой люпина после уборки ржи: 1) картофель; 2) рожь+люпин. Такой севооборот в Новой Александрии (широта Чернигова) давал в течение 20 лет 100-пудовые урожаи ржи без применения каких-либо удобрений, кроме люпина (опыт профессора Будрина).

Сказанное относится к обыкновенному люпину, но в последнее время обращено внимание на многолетний люпин, культура которого как на удобрение, так и на семена возможна везде, вплоть до Архангельска. При мелкости семян этого люпина его можно подсевать под овес, предшествующий пару; тогда на следующий год он зацветает на месяц раньше, чем обыкновенный (яровой) люпин, а кроме того, очень важным преимуществом его является то обстоятельство, что на гектар требуется только 30 кг семян вместо 200 кг (а при посеве специально на семена высевают только 4—5 кг широкорядным посевом с мотыжением, тогда коэффициент размножения может доходить до сам-100).

Легкость размножения семян этого люпина, его способность расти также и на связных почвах, его нетребовательность к температурным условиям позволяют рассчитывать на громадное распространение его культуры на север и на восток, позволяют совершенно по-иному поставить весь вопрос о зеленом удобрении, чем это было до сих пор; т. е. можно перестать говорить о люпиновых севооборотах как специфических для песчаных почв; зеленое удобрение должно выйти за пределы песча-

ных почв, *его следует использовать как общий прием на всяких почвах, на всей громадной площади паровых полей* (кроме засушливой полосы), в тех самых севооборотах, в которых имеется и клевер. Введение этого приема равнозначно *удвоению количества навоза* в хозяйстве, причем добавочное количество «навоза» *не требует вывозки.* Само собой разумеется, что люпин и навоз должны попадать на разные поля, люпин должен служить для удобрения озимого клина, а навоз может идти под картофель (не говоря об овощных культурах) [14*].

Прямо противоположный случай преобладания севооборотов без многолетних трав встречается в черноземной полосе, в районах, где чернозем еще не выпахан и сохранил свое богатство азотом и превосходную (не легко уничтожаемую) структуру. Там встречается (а особенно был распространен раньше) четырехпольный севооборот, отвечающий норфолькскому четырехполью, но только без клевера, а именно: пар, озимь, пропашное, ярь (вместо — клевер, озимь, пропашное, ярь). Пропашной клин занимается картофелем или подсолнечником, а если 25% площади под трудоемкими культурами являются избыточными, то половину поля занимают вместо пропашных зерновыми бобовыми. К той же мере прибегают, если не хотят, чтобы культура, страдающая от вредителей (под-

---

[14*] В качестве примера приведем результаты опытов, проведенных с этим люпином в Смоленской и Пермской областях.

В Смоленской области при опытах, повторявшихся в течение трех лет, получились такие средние данные (в ц/га):

	Урожай озимой ржи	Урожай картофеля (последействие)
Контроль	8,4	87,4
Навоз 18 т	12,3	151,6
» 36 т	15,9	168,3
Люпин многолетний	15,0	176,8

Таким образом, действие люпина было близким к действию 36 т навоза. Еще более благоприятные результаты были получены на Уральской зональной станции (Пермская область), где действие люпина было значительным даже на третьей культуре (в ц/га):

	1) Рожь	2) Лен по ржи		3) Ячмень после льна
		солома	семена	
Контроль	7,0	11,0	2,5	6,9
Люпин, запаханный в цвету	19,1	21,2	5,3	12,1
Запаханы только пожнивные остатки люпина	16,6	19,9	4,7	10,9

В последнем случае надземная масса была скошена и свезена для удобрения другого поля; тем не менее действие пожнивных остатков было очень большим.

солнечник, сахарная свекла), повторялась каждые 4 года. И все же у нас бывали случаи, когда в районах, еще не зараженных вредителями сахарной свеклы, такое четырехполье (пар, озимь, сахарная свекла, овес) применялось с успехом в течение долгого ряда лет, но при условии или наличия лугов, или возможности получения навоза со стороны, иначе этот севооборот не может обеспечить навозом сахарную свеклу.

Паропропашные севообороты встречаются особенно часто в восточной половине черноземной полосы, где почва менее выпахана и где клевер не удается из-за засушливого климата; но чаще всего севооборот изменяется так, чтобы процент площади под пропашной культурой был ниже 25, что достигается переходом на пятиполье и семиполье, например: пар, озимь, ярь, пропашное, яровое, или: пар, озимь, пропашное, ярь, пар, озимь, ярь.

В Сибири в тех безлесных районах с суровыми зимами и скудным снежным покровом, где озимая рожь является ненадежным хлебом [15*], пар обычно предшествует яровой пшенице. Например, встречается такое видоизменение паропропашного севооборота: пар, яровая пшеница, овес, пропашные, яровое.

Желательно, чтобы в паропропашные севообороты вводились зерновые бобовые, которые являются хорошими предшественниками хлебов, в особенности если зерновое бобовое может культивироваться как пропашное; таковы конские бобы, дающие зерно вдвое более богатое белками, чем овес [16*].

Что конские бобы являются хорошими предшественниками для хлебов, показывает длительный опыт Шотландии, где существует двухпольный севооборот: конские бобы, озимая пшеница, причем навоз вносится под бобы (они несклонны полегать). Но если в Шотландии климат позволяет после бобов сеять озимую пшеницу, то у нас большей частью за ними должно следовать яровое [17*].

[15*] Однако возможно (и необходимо) расширять в степной полосе Сибири культуру озимой ржи как более урожайной, чем яровые хлеба, применяя снегозадержание, которое защищает рожь от вымерзания и увеличивает запас влаги в почве.

[16*] То же относится и к другим бобовым; они имеют по содержанию белков гораздо большее пищевое и кормовое значение, чем хлеба, притом не только не требуют азотистых удобрений, но еще сами обогащают почву азотом (хотя и в значительно меньшей степени, чем клевер и люцерна).

[17*] Однако есть способ поместить после конских бобов озимую рожь и у нас, если при широкорядной культуре бобов (например, при расстоянии 45—50 см) посевы ржи произвести до уборки бобов при последнем мотыжении междурядий; тогда раскустившаяся рожь не терпит заметного ущерба при уборке бобов, а жнивье бобов остается на зиму для снегозадержания, если хотят компенсировать потерю влаги, потраченной бобами на испарение; однако на юго-востоке и в Казахстане конские бобы должны быть для этой цели заменены другими, более засухоустойчивыми бобовыми, как нут (неполегающая разновидность). Заслуживает также испытания так называемый сладкий люпин, зерно которого является ценным концентратом при откорме животных.

Однако конские бобы уместны лишь в северной половине черноземной полосы, при движении к югу выступает фасоль, на юго-востоке более предпочтительны горох и чечевица (которая часто может помещаться в занятом пару), а в Заволжье и Казахстане заслуживает внимания нут (бараний горошек), как самое засухоустойчивое из зерновых бобовых (для кормовых целей годится чина).

Насыщение паропропашных севооборотов бобовыми должно вестись всеми путями. Они могут помещаться и в яровом, и в пропашном клину, а также и в паровом поле (по типу занятого пара), если они достаточно скороспелы, как чечевица, или если они допускают посев озими в междурядьях.

Встречаются затем севообороты не только без трав, но и без пара. Таковы севообороты некоторых овощных хозяйств, изобилующие пропашными культурами и располагающие большим количеством навоза со стороны, например: 1) бобовые; 2) овощи; 3) овощи; 4) картофель; 5) рожь; 6) картофель. В этом случае обилие применяемого навоза обеспечивает хорошую структуру почвы, несмотря на частое рыхление при культуре овощей и картофеля. Отсюда обычное сравнение для хорошо обработанного поля: «Почва разделана так хорошо, как на огороде».

О ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЛЕВОДСТВА В НАШИХ ПЛОДОСМЕННЫХ СЕВООБОРОТАХ С ЧИСТЫМ ПАРОМ

Как видно из приведенного обзора, типы севооборотов многообразны и число отдельных вариантов может быть очень большим. Из этого многообразия приходится выбирать нечто наиболее подходящее к данным конкретным условиям, стремясь так построить севооборот, чтобы он способствовал последовательному повышению продукции как благодаря обилию навоза и корневых остатков клевера, обеспечивающих растения питательными веществами, поддерживающих хорошую структуру почвы, так и благодаря разнообразию культур, облегчая борьбу с сорными травами и обеспечивая страхование урожая при колебаниях климата и размножении вредителей.

Для этого нужно комбинировать в должной пропорции и в должной последовательности прежде всего четыре продуктивных звена плодосмена, т. е. озимые и яровые хлеба, пропашные культуры и травы (среди них ведущая роль принадлежит бобовым). Этих четырех звеньев достаточно на юге (Кубань, Закавказье, Средняя Азия), но в средней и северной полосе необходимо добавить пятое вспомогательное, но очень важное для нас звено — паровое поле, хотя бы не в той доле, как первые четыре, а в половинной, т. е., например, в восьмиполье занять $^7/_8$ площади посевами и $^1/_8$ — паром.

Мы видели выше, как на Западе введение плодосмена в форме английского четырехполья без пара (по крайней мере — явного) вызвало учетверение продуктивности полеводства задолго до введения минеральных удобрений. Теперь посмотрим, насколько оставление $^1/_8$ пахотной площади в пару повлияет на продуктивность севооборота. Для этого возьмем, например, то свекловичное восьмиполье (с двумя полями свеклы), которое мы приводили выше: пар, озимь, свекла, яровое, клевер, озимое, свекла, яровое — и посмотрим, насколько соотношение площадей в нем отличается от английского четырехполья.

Севооборот	Процент площади под			
	озимыми	яровыми	пропашными	травами
Свекловичное восьмиполье	25	25	25	12,5
Английское четырехполье	25	25	25	25

Таким образом, вся разница заключается в том, что в первом случае на $^1/_8$ отсутствует клевер.

Подсчитаем теперь продуктивность этого севооборота, считаясь с фактом, что минеральные удобрения у нас вносятся только под свеклу и то в умеренном количестве (а на Западе они вносятся и под хлеба). Примем урожай свеклы 240 ц, урожай хлебов 16 ц и клевера 40 ц, учитывая также солому и свекольную ботву; переведя все в зерновые эквиваленты по ранее описанному способу, получаем следующее сравнение с продуктивностью трехполья и английского четырехполья.

Севооборот	Количество зерновых эквивалентов (в ц/га)	
	в пищевых единицах	в сумме пищевых и кормовых единиц
Трехполье	4,3	5,9
Свекловичное восьмиполье	21,0	29,0
Английское четырехполье до введения минеральных удобрений	19,0	29,0
Английское четырехполье после введения минеральных удобрений	38,0	52,0

Итак, уже теперь при весьма умеренном применении минеральных удобрений (считая на гектар посевной площади) по сравнению с Западом, можно иметь повышение продукции в 5 раз по сравнению с трехпольем;

по мере же развития нашей туковой промышленности мы будем все более повышать этот коэффициент, причем отведение $^1/_8$ площади под пар может быть сполна компенсировано в будущем относительно небольшой прибавкой в количестве применяемых минеральных удобрений.

Но попробуем применить такой же подсчет к более частому у нас случаю, когда свеклы нет в севообороте и минеральные удобрения вовсе не применяются. Возьмем один из северных севооборотов с двумя полями картофеля и с двумя полями клевера, а именно: пар, озимь, картофель, ярь, клевер, клевер, озимь, картофель, ярь. Принимая урожаи картофеля 170 ц, ржи 16 ц, яровых 13 ц, клевера 40 ц, получаем в итоге 17 ц зерновых единиц на гектар и 23 единицы, если учесть и корма (против 4,3 и 5,9 при трехполье), т. е. получается учетверение продукции при плодосмене по сравнению с трехпольем, несмотря на то что 11% площади отведено под пар, в отличие от английского четырехполья.

Следовательно, наши климатические условия, заставляющие сохранять чистые пары, по существу не мешают нам идти по пути Запада и достигать поднятия продуктивности в 4 раза путем введения правильных севооборотов, увеличения в них процента пропашных культур, более продуктивных, чем хлеба, и введения азотособирателей, повышающих урожаи и хлебов, и пропашных растений. На данном этапе, пока промышленность может снабжать ценными удобрениями (как азотистые удобрения) только технические культуры, именно введение правильных севооборотов плодосменного типа и является главным способом поднятия нашей зерновой продукции, с помощью которого урожаи хлебов могут быть доведены до среднего уровня 16 ц, само собой разумеется — на фоне должной агротехники.

Но мы вовсе не ограничены четверным повышением продукции против трехполья, как было на Западе в первой половине прошлого столетия, когда урожаи надолго стабилизировались: ведь тогда не было известно, чтó нужно для жизни растений, еще не существовало физиологии растений и агрономической химии, нужно было ждать должного развития этих наук и затем развития химической промышленности. Нам же не нужно непременно ждать, пока наша химическая промышленность разовьется настолько, чтобы давать азотистые удобрения и суперфосфат всем культурам, так как мы знаем, что на громадной площади подзолистых почв севера и выщелоченных черноземов центра можно заменить такой важный продукт заводской промышленности, как суперфосфат, простым размолом фосфоритной муки, которая помимо повышения урожаев озими пойдет на пользу клеверу, подсеянному под озимь, клевер накопит больше азота, а это пойдет на пользу всем культурам. Точно так же можно применять дешевые калийные соли, не обременяя химической промышленности. Вот эти приемы и могут так поднять влияние клеверных севооборотов, что ими с избытком компенсируется необходимость отводить $^1/_8$ пахотной площади под паровое поле.

Таким образом, для нас открыта возможность дальнейшего поднятия

урожайности, без тех задержек на этом пути, какие встречало западноевропейское хозяйство около 100 лет тому назад вследствие недостаточного развития в то время физиологии растений и агрономической химии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение укажем еще на известное различие между западным и нашим хозяйством в вопросе строгости соблюдения установленных севооборотов. В Западной Европе при господстве капиталистического хозяйства, подчиняющегося колебаниям рыночных цен, и при дешевизне минеральных удобрений нередко возникали тенденции отойти от твердых рамок севооборота и вести так называемое вольное хозяйство, т. е. сеять то, что в данное время лучше оплачивается на рынке. Однако это и там встретило препятствие прежде всего с чисто агротехнической стороны (см. вышеописанный пример с монокультурой хлопчатника); а со стороны организационной необходима известная устойчивость в развитии отраслей хозяйства (например, правильное развитие животноводства возможно только при стабильности кормовой площади, соблюдении известного общего плана, что особенно важно, например, для племенного дела).

У нас руководящим началом является то положение, что севообороты *должны отражать плановые задания государства* по производству определенных сельскохозяйственных продуктов не только в количестве, отвечающем общему заданию, но и определенного качества. При этом государство руководствуется задачами обеспечить население должным количеством зерна, сахара, жиров, хлопкового и льняного волокна, продуктов животноводства. Выполнение известной части задания определяется соотношением культур в севооборотах данной области (где хлопковых, где свекловичных, где льняных), но с учетом также культур вспомогательных, необходимых для производства продуктов, поставляемых государству (таковы кормовые культуры), с учетом и необходимой паровой площади. Последовательность культур определяется рядом агротехнических соображений и задачей обеспечить рост урожаев до требуемого уровня не только без истощения почвы, но по возможности с обеспечением ее последовательного улучшения.

При построении севооборота нужно в каждом отдельном случае подсчитать, сколько требуется навоза для обеспечения урожаев хлебов и технических культур и сколько навоза дает данный севооборот, и привести к согласованию обе эти величины, подбирая должное соотношение между площадями, занятыми навозообразователями и навозопотребителями. Но разрешение этого вопроса сильно зависит от того, получают ли, по крайней мере ведущие культуры, минеральные удобрения или нет. Так, например, хлопчатник получает много азотистых удобрений и хорошо их оплачивает, поэтому ясно, что в хлопковых севооборотах навозный баланс (в частности — азотный баланс) будет сводиться иначе, чем в зерновом хозяйстве, которое не получает азотистых удобрений и в котором

приход азота обусловливается главным образом наличием клевера (потому что и количество навоза, и содержание азота в нем зависят от того же клевера).

Даже такое обстоятельство, как приемы технической переработки сырья, может влиять на структуру севооборота и степень насыщения его, например, льном. Так, если мочка льна ведется на местах, кустарными способами, то гораздо легче уравновесить истощающее действие льна (как не дающего никакого материала для образования навоза) соответственной площадью клевера. Если же вводится централизованная тепловая мочка льна, то приходится приближать посевы льна к заводу, так как при этом перевозить из хозяйства на завод нужно не волокно, а льняную солому, которая весит в 5 (с лишним) раз больше; трудность транспорта заставляет приближать посевы льна к заводу, т. е. повышать процент льняной площади в севообороте, а это легче сделать при применении минеральных удобрений под лен, чем без них. Поэтому нельзя дать повсеместных жестких норм для соотношения площадей между льном, клевером и хлебами, необходима известная эластичность в зависимости от местных условий.

Точно так же при таких культурах, как сахарная свекла и картофель, дающих громоздкий продукт с содержанием 75% воды, приходится приближать эти культуры к заводу или к железнодорожной станции, к которой доставляется урожай корней и клубней, и уменьшать насыщение севооборотов этими культурами по мере отдаления от станции.

Затем такие условия, как наличие заливных лугов в одном колхозе и отсутствие их в соседнем, а также почвенные различия создают разный подход к разрешению кормовой и навозной проблемы, разную структуру полеводства, разные севообороты.

Поэтому общие задания, обязательные для области, могут претерпевать различия по районам и тем более по отдельным колхозам; в каждом из них севообороты должны быть согласованы с местными природными и экономическими условиями, отсюда необходимость большой эластичности в построении севооборотов для каждого колхоза.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Классификация севооборотов с травами

I. Плодосменные севообороты с 25% трав (реже — 12,5, или 33%).

А. С одним годом трав (клевер без тимофеевки).

1. Без пара (например: свекла, яровое, клевер, озимь, горох и овес).

2. С паром (например: пар, озимь, свекла, яровое, клевер, озимое, горох и овес).

В. С двумя годами трав (клевер с тимофеевкой).

1. Восьмиполье без пара (датского типа), например: картофель, яровое, клевер, клевер, озимое, картофель, озимь, ярь.

2. Восьмиполье с паром, например: пар, озимь, картофель, ярь, клевер, клевер, озимь (или лен), овес.

С. С тремя годами трав (люцерна), например: 1) свекловица, 2) пшеница, 3, 4 и 5) люцерна, 6) пшеница (или свекла), 7) яровое, 8) бобы, 9) озимь (Казахстан).

II. Травопольные севообороты с 60—70% трав (не самостоятельные, чаще рекомендуемые, чем существующие).

Примеры: 1) яровые, 2—6) травы, 7) яровые (70% трав); 1) пропашные, 2) яровые, 3—7) травы, 8) лен (62% трав).

Как самостоятельные, травопольные севообороты существуют только в странах, ведущих животноводческое хозяйство и живущих ввозным хлебом (Швейцария, Западная Англия) [18*].

[18*] В ряде случаев применяются севообороты и без многолетних трав; таковы исконные соевые севообороты Японии и Китая, люпиновые севообороты на песчаных почвах и так называемые паропропашные севообороты у нас на юго-востоке (переходный тип, требующий введения бобовых, по крайней мере — зерновых).

ПОДНЯТИЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА СЕВЕРЕ [24] КАК СРЕДСТВО ОБЛЕГЧИТЬ КРИЗИС ПРОДОВОЛЬСТВИЯ И ТРАНСПОРТА *

В широкой публике большой распространенностью пользуется представление, по существу неверное, будто наши южные черноземные губернии имеют урожаи более высокие, чем губернии северные, нечерноземные; статистикам же давно известно обратное: что на общем фоне низких урожаев самыми низкими урожаями ржи с десятины отличаются губернии Таврическая и Оренбургская, самыми низкими урожаями овса — Самарская губерния и Донская область, а Курляндия, Лифляндия и Эстляндия [25], области нечерноземные и не южные, имеют весьма высокие урожаи с десятины не только ржи и овса, но и пшеницы; в среднем вся нечерноземная Россия имеет урожай ржи на 9% выше, чем весь чернозем, для пшеницы и овса примерно такая же разница, а ячмень (в среднем) дает в нечерноземной полосе даже 16% превышения по сравнению с черноземом**.

Но почему же тогда юг доставлял хлеб северу, а не наоборот? Потому что на юге те же урожаи с десятины даются земледельцу с меньшей затратой труда, чем на севере; потому что в прошлом можно было в степи сразу, вспахав целину, без удобрения сеять пшеницу; выпахалась земля — ее запускали в залежь, залежь через несколько лет снова могла дать несколько урожаев без удобрений.

На севере не только нужно выкорчевывать лес вначале, при закладке пашни, но если выпаханную землю оставить «отдыхать», то она снова зарастет лесом, его снова нужно корчевать, а при непрерывной культуре землю на севере нужно регулярно навозить.

Правда, и в черноземной полосе кончилось прежнее безнавозное хозяйство, и чернозем потребовал удобрения (прежде всего фосфатов), но все же там удобрение действует на большее число лет, чем на севере, обработка требует меньше труда. Поэтому на юге распахано много земли (около 60%), на севере мало (около 13%).

Итак, не урожайность, а большая дешевизна столь же низких урожаев сделала черноземные губернии поставщиками хлеба для нечерноземных, и именно по этой причине с развитием железнодорожной сети запашка на севере сократилась.

---

* Печатается с сокращениями по тексту, опубликованному в Юбилейном сборнике «Статьи и научные работы Д. Н. Прянишникова», т. 1, 1927, стр. 330. Впервые опубликована в 1920 г. отдельной брошюрой.

** См.: Фортунатов. Несколько страниц из экономии и статистики сельского хозяйства, 1903.

Если не касаться того сокращения пашни, которое произошло на владельческих землях с отменой крепостного права, а иметь в виду последующий период, с преобладанием крестьянской запашки, то все же наблюдается постепенное ее сокращение: так, посевы ржи в Московской губернии, занимавшие в 1864 г. площадь около 360 тыс. десятин [3*] и в 1867 г.— около 300 тыс. десятин, составляли в 1900 г. около 200 тыс. десятин, а в 1916 г. лишь 136 тыс. десятин. Общая площадь посева для 1903 г. дается в 460 тыс. десятин, для 1913 г.— в 420 тыс. десятин, т. е. за эти 10 лет имело место сокращение чуть не на 10%.

Кризис транспорта заставляет перестроить хозяйство «промышленного» района, вспомнить о том, что север может иметь урожаи не хуже южных, если приложить труд к обработке почвы, которая, правда, требует больше этого труда, чем чернозем, но зато климат нечерноземной полосы гарантирует гораздо большую устойчивость урожаев, чем, например, в Самарской губернии, где годы засухи с полным неурожаем, ею вызванным, чередуются с удачными годами в капризной последовательности.

Для того чтобы получить большее количество хлеба или заменяющих его продуктов на севере, возможно идти несколькими путями, с разной быстротой продвижения вперед; лучше всего, конечно, использовать все их, по возможности, одновременно; отметим следующие направления:

1. Увеличение площади запашки.
2. Поднятие урожаев хлебов.
3. Введение культур более продуктивных, чем хлеба.
4. Лучшее использование пахотной площади («уплотненные севообороты»).
5. Более рациональное использование продуктов полеводства (обращение в пищу людям некоторых ценных продуктов, вместо расходования их в технике или в животноводстве).

Из сказанного ранее видно, что расширение запашки в нечерноземной полосе не встречает препятствий в смысле наличности громадного земельного простора; так, например, в Московской губернии посевная площадь составляет только 11% от общей площади губернии (337 243 десятин), а площадь ржаных посевов только $4^1/_2$% (136 247 десятин).

Считая в Москве $1^1/_2$ млн. жителей при 1,6 ц зерна на едока, получим потребность города (по нынешнему скромному масштабу) в 250 тыс. т ржи, а для губернии нужно вдвое больше — 500 тыс. т. Допуская, что в Московской губернии средний урожай ржи достигает 9 ц, определим площадь, потребную для получения 500 тыс. т ржи, в 550 тыс. га, или 16% от площади губернии (последняя близка к 3,3 млн. га). При хо-

---

[3*] Для 60-х годов площадь посева точно неизвестна; площадь под рожь вычислена из количества высеваемого зерна в предположении, что густота высева доходила до $1^1/_2$ четверти.

рошей культуре достаточно было бы вдвое меньшей площади, т. е. 8% от площади губернии[4*].

Итак, даже прокормление столицы мыслимо для Московской губернии при расширенной запашке; но, конечно, не следует эту задачу ставить одной губернии, ее нужно возложить и на смежные губернии.

Однако запашку быстро расширить нельзя, особенно при сокращенном количестве лошадей и недостатке навоза; точно так же поднятие урожаев требует времени, и сделать что-либо существенное для улучшения положения в этом же году почти невозможно; эти меры нужны для увеличения сбора хлебов в 1921 и следующих годах.

Но есть иные пути приближения к этой же цели; наиболее быстрым и решительным способом поднятия продуктивности земледелия является проведение третьей меры из перечисленных выше, т. е. смены культуры хлебов (в известной части) на более продуктивные культуры; эта мера может быть энергично осуществляема с предстоящей весны и оказать существенное влияние уже на ближайшую продовольственную кампанию (1920/21 г.). Такими несравненно более продуктивными культурами являются прежде всего картофель, а затем сахарная свекла и другие корнеплоды, в комбинации с культурой бобовых.

О картофеле у нас распространено неправильное представление, основанное на впечатлении потребителя, который знает, что картофель уступает хлебу в питательности благодаря большему содержанию воды и меньшему содержанию азотистых веществ, а именно содержатся (в %):

	Вода	Крахмал	Азотистые вещества
В ржаном хлебе	40	42	6–7
В картофеле	75	20	2

Но потребителю неизвестно то соотношение, в котором нужно сравнивать значение хлеба и картофеля с точки зрения производительности земледельческого труда; если же его спросить, что он предпочитает получить — 200 г хлеба или 2 кг картофеля, то, вероятно, он предпочтет картофель, и будет прав, потому что он получит тогда в картофеле в 4 раза больше калорий и в 3 раза больше азотистых веществ, чем в хлебе.

А как раз десятерное соотношение существует между урожаями картофеля и урожаями хлебов с единицы площади; так, например, наш средний урожай ржи составляет 7,5 ц с га, а урожай клубней картофеля — 75 ц. В лучших хозяйствах получают средний урожай ржи в 20 ц, а картофеля и 22,5 т, т. е. десятерное отношение даже может быть превзойдено. Но лучше провести сравнение по сухому веществу и отдельным составным частям, как это сделано (в ц на га) ниже:

4* Ради упрощения примерного расчета мы не переводим зерно в хлеб, не учитывая припека, но и не делаем скидки на семена и на отруби.

	Рожь	Картофель	Отношение *
Урожай	7,5	75	1:10
В нем:			
сухих веществ	6,4	19	1:3
крахмала	4,9	15	1:3
азотистых веществ	0,8	1,5	1:2

* В округленных цифрах.

Отсюда видно, что урожай картофеля содержит втрое больше сухих веществ (в клубнях), чем урожай ржи (в зерне), или десятина картофеля стоит трех десятин ржи по урожаю сухих веществ.

Мы привели сравнение при равных условиях, т. е. при обычном у нас уровне урожаев того и другого растения, который во много ниже достижимого при хорошей культуре; но на всякое улучшение культуры (особенно внесение удобрения) картофель реагирует сильнее, чем рожь, а потому расширение его культуры облегчает и поднятие урожайности.

Если же, кроме введения картофельной культуры, впоследствии наступает и общее поднятие урожайности, то в конце концов продуктивность продовольственного клина в полеводстве может чуть ли не удесятериться; что такая перспектива не фантастична, видно из следующего сопоставления современной крестьянской культуры ржи с возможной в будущем хорошей культурой картофеля. Это будущее мы учитываем по данным фермы Петровской академии, которая за последнее пятилетие имела средний урожай в 260 ц картофеля на гектаре (это в полевой культуре; на огородах урожаи могут быть выше, но они сто́ят тогда гораздо большего труда, чем в поле, при работе конных орудий).

	Современная культура ржи (в ц)	Урожай картофеля при хорошей культуре (в ц)	Отношение
Общий вес урожая	7,5	260	1:35
В нем:			
сухих веществ	6,4	60	1:9,4
крахмала	4,9	48	1:9,8
азотистых веществ	0,8	4,8	1:6

Перспектива поднятия производительности полеводства открывается очень широкая, и еще, как увидим ниже, она этим не исчерпывается; но пока нам, однако, наиболее важно не будущее, а настоящий 1920 г., и для него мы можем использовать наш первый расчет, т. е. считаться с утроением количества пищи в случае замены десятины ржи десятиной картофеля.

Если крестьянство будет заинтересовано в снабжении картофелем городов, то расширение культуры картофеля не потребует никаких особых мер, кроме широкого снабжения населения семенами негниющих сортов,

ибо картофель не требователен к почве и к культуре. Конечно, разумное инструктирование и улучшение инвентаря поможет получению еще большего эффекта, но вряд ли найдется другая культура, столь простая и столь уже знакомая населению, столь удобно помещаемая в любом поле севооборота, которую так легко было бы расширить при соблюдении вышеуказанного элементарного условия.

Посмотрим, сколько земли нужно занять картофелем, чтобы прокормить им Москву.

Положим, что мы хотим дать по 2 кг картофеля в день на едока или по 7,4 ц в год; на 1,5 млн. жителей это составит 1,1 млн. т; с какой площади можно собрать это количество?

Решение этого вопроса зависит от того, какова будет культура, хорошая или плохая; при хорошей культура достаточно 45 тыс. га, а так как в Московской губернии всей земли около 3 млн., то выходит, что достаточно отвести под картофель 1,5% от площади губернии, чтобы Москва была обильно снабжена картофелем и жизнь ее обитателей менее зависела от состояния железных дорог, ведущих в Заволжье и Сибирь. При плохой культуре для этой же цели потребуется 4,5% картофельных посевов от всей площади губернии.

Если бы удалось расширить культуру картофеля, это приобретение удержалось бы и на будущее время, ибо население не рассталось бы с раз полученной ценностью, ибо применение картофеля, помимо непосредственного употребления в пищу, многообразно. Так, картофель является отличным кормовым средством для разного вида животных; он принадлежит к «молокогонным» кормам, и его наличность усилит производство молока и сливочного масла; картофель является также очень хорошим материалом при откормке животных: так, в Германии сильно развитое свиноводство базируется преимущественно на картофеле; именно это обстоятельство, т. е. сильно развитая культура картофеля (16% от посевной площади!) и основанное на ней свиноводство, в значительной степени спасло Германию от голода во время войны [1914—1918 гг.]. На каждого жителя Германия выращивает по 7,4 ц картофеля, но до войны в ней ровно столько же картофеля, сколько съедалось людьми, шло на откорм свиней; во время блокады, когда для Германии настали трудные времена, откорм свиней был воспрещен, благодаря чему освободилось громадное количество картофеля для людского питания; правда, от сала и ветчины пришлось отказаться и понизить тем самым качество пищи, но зато крупный выигрыш получился в количестве, так как на производство центнера свинины идет около 10 ц картофеля (из всего количества калорий в пище животное отлагает в теле от 7 до 20%, смотря по возрасту и условиям откорма; цифра в 10% взята из немецких данных при условии, что картофель является главным, но все же не единственным кормом) [5*].

[5*] Во время войны в Германии кормили картофелем и лошадей; по указаниям немецких источников, оказалось возможным поддерживать на должном уровне рабо-

Кроме животноводства картофель, если бы он впоследствии оказался в избытке, нашел бы применение в ряде технических производств. Из картофеля готовят не только патоку, но и твердый сахар (глюкозу) путем осахаривания крахмала кислотой и применения методов свеклосахарного производства (кристаллизация в движении, центрифугирование и пр.). Кроме винокурения, крахмального, паточного дела и производства твердой глюкозы картофель еще более простым способом перерабатывается в ценный продукт, подобно зерновым хлебам выдерживающий лежку, перевозку, смену температур,— это сушка картофеля.

Помимо влияния на развитие животноводства и технических производств, нужно не забывать о благотворном влиянии картофельной культуры на самое полеводство: лучшая обработка почвы и очищение от сорных трав благодаря рыхлению междурядий во время роста картофеля заменяют пар (отчего картофель и называют паровым растением); при уборке картофеля почва еще раз рыхлится, чем заменяется осенняя вспашка под яровое; а затем картофель, лучше оплачивая удобрение, может явиться проводником минеральных удобрений в хозяйствах, до тех пор их не применявших; благодаря всему этому введение картофеля в севооборот повышает урожаи остальных растений.

Далее, картофель способствует страхованию от неурожая благодаря уже одному только введению разнообразия в нашу слишком однотипную полевую культуру; так, например, июньская засуха может погубить урожай хлебов, а июльские дожди их уже не исправят, картофель же их хорошо использует; от вредных насекомых картофель страдает мало, а грибные вредители у него другие, чем у хлебов, да и против них есть стойкие (негниющие) сорта.

Одностороннее преобладание хлебов в культуре имеет и другое неудобство: оно вызывает чрезмерное скопление работ в известные периоды, например в «страдную пору», оставляя свободные промежутки; работы по культуре картофеля ложатся как раз на промежутки между периодами напряжения, например, посадка его производится после посева яровых, окучивание предшествует уборке хлебов, а копка картофеля приходится на время гораздо более позднее, чем жатва. Поэтому и с этой стороны при введении картофеля получается повышение продуктивности земледельческого труда.

Вышесказанным объясняется, почему введение картофеля в культуру не вызывает уменьшения сбора хлебов даже тогда, когда оно производится за счет хлебной площади; в таком положении находилась Германия, давно упразднившая пар и не имеющая другого места для расширения картофельной культуры, как отнятие площади у хлебов.

тоспособность лошади, если ей, кроме сена, давать в день 12—16 кг картофеля; а так как для получения 16 кг картофеля нужна в 2—3 раза меньшая площадь, чем для получения 5—6 кг овса, то эта замена освобождала часть площади из-под овса для культуры ржи и пшеницы (Störmer, Kartoffelbau, 1918).

У нас, при наличности в нечерноземной России 85% нераспаханной площади, при незанятом паре нечего бояться того, чтобы расширение культуры картофеля в будущем могло понизить валовой сбор хлебов.

Мы можем сократить пар, введя в севооборот картофель, заменяющий пар, не уменьшая еще площади под хлебами. Но если бы и это случилось, то, как разъяснено выше, это было бы только к лучшему, ибо картофель дает втрое больше пищи с гектара, чем хлеба.

Если бы было возможно, например, весь пар к югу от Москвы в 1920 г. засадить картофелем, это нужно было бы только приветствовать; пусть рожь 1921 г. даст от этого только $^2/_3$ урожая, но ведь мы зато получим урожай картофеля, равный десяти урожаям ржи (что отвечает тройному количеству пищи).

В ранее приведенном сравнении картофеля с рожью мы сравнивали по продуктивности гектар ржи с гектаром картофеля, но не принимали еще во внимание, что ржаное поле у нас обычно требует равной площади парового поля; поэтому наш расчет еще не был полным. Если же принять во внимание, что при замене ржи картофелем мы выигрываем еще площадь парового поля, которое может быть занято тем же картофелем, то преимущество картофельной культуры перед ржаной удвоится, так как нам придется сравнивать два урожая картофеля с одним урожаем ржи; тогда выйдет, что картофель на площади, равной пару и ржи, способен дать в 6 раз больше сухих веществ (и крахмала в них), а азотистых веществ в 3,6 раза больше, чем их дает рожь.

Однако если бы мы стали просто заменять рожь нацело картофелем, то, крупно выиграв в количестве пищи, мы все же понизили бы отношение азотистых веществ к безазотистым, ибо оно в картофеле иное, чем в хлебе (1 : 10 вместо 1 : 6).

Но есть средство избегнуть этого: если одновременно с расширением площади под картофелем мы будем увеличивать посевы зерновых бобовых, то мы исправим сказанное отношение, ибо у этих растений (гороха, бобов, чечевицы, вики) так много белков в семенах, что их содержание в 2—2,5 раза превосходит таковое в зернах ржи, а отношение азотистых веществ к безазотистым поднимается до 1 : 2,3 (горох) или даже до 1 : 1,7 (вика).

Представим крайний случай, что мы заняли весь пар картофелем и заменили всю рожь викой на зерно; сравним продуктивность первой комбинации «пар — рожь» и второй — «картофель — вика», приняв за единицу количество белков и углеводов в урожае ржи:

	Пар — рожь		Картофель — вика		Сумма для картофеля и вики
Крахмала	0	1	3	0,75	3,75
Азотистых веществ	0	1	1.8	2,5	4.3

Таким образом, мы можем вчетверо увеличить продуктивность единицы площади, заменяя связанную с паром культуру озимого хлеба, от которого мы ждем сразу и белков и углеводов, сопряженной парой растений-специалистов, из которых одно (картофель) специализировано по накоплению углеводов, а другое (бобовое) — по накоплению белков; чтобы приблизить к составу хлеба смесь картофеля и бобового, достаточно взять на 100 частей смеси 9 частей гороховой муки и 91 часть вареного картофеля, или 7 частей виковой муки и 93 части картофеля; тогда отношение белков к углеводам будет такое же, как в хлебе.

Значение бобовых подчеркивается теперь и еще одним обстоятельством — недостатком азота в удобрениях, о котором мы будем говорить подробнее ниже.

Во всех тех случаях, когда необходимо повысить продуктивность земледелия, значение картофеля и бобовых должно возрастать.

Но, конечно, картофель нужно разводить на местах, где он нужен потребителю; столицы должны быть окружены кольцом густой картофельной культуры, а рожь (и особенно пар) должна отступить от них на известное расстояние.

В известной мере этот процесс уже стал намечаться и прежде, но в недостаточной мере; так, Московская губерния выделяется из других губерний большим процентом площади под картофелем, а Московский уезд отличается от окружающих его уездов еще большей «картофельностью», в нем картофель уже потеснил рожь, заставив ее отойти на второе место: так, в 1916 г. было под картофелем 12 тыс. га, а под рожью только 7 900 га, но плохо, что процент посевной площади в Московском уезде все же очень мал (11—12%), поэтому, несмотря на большой земельный простор (около 240 тыс. га), этот уезд не может дать в настоящее время тех 49 тыс. га картофеля, которые были бы нужны Москве, чтобы эмансипироваться от привозного хлеба (даже если бы всю посевную площадь уезда занять картофелем, это составило бы только 31 тыс. га). Поэтому нужно стремиться к тому, чтобы и другие уезды Московской губернии тоже стали более «картофельными» прежде всего за счет пара, а затем и за счет ржи и других культур.

Опасным врагом картофельной культуры является заболевание мокрой гнилью, принесшей большой вред в 1919 г. Однако есть средство борьбы с этой невзгодой — это выбор сорта, стойкого против заболевания; в прошлом (1919) году можно было видеть случаи, когда на мокрой глинистой почве, при застое воды в бороздах, совершенно отмирала ботва у одного сорта (Ранний розовый), тогда как другой тут же рядом был совершенно здоров, ботва была свежая, зеленая (Всегда хороший).

Насколько влияет сорт на поражение мокрой гнилью, видно из следующих данных фитопатологической станции при Петровской академии за 1919 год:

Сорт	Степень поражения листьев	Больные клубни (в %)
Грация	Редкие пятна	0
Знич	То же	0
Всегда хороший	Пораженность ниже средней	0
Имп. Рихтера	Пораженность средняя	5,6
Петровско-Разумовский	То же	7,4
Царский	»	8,6
Шестинедельный длинный белый	»	16,0
Симоновский	Сильная	36,0
Ранний розовый	Чрезвычайно сильная	67,0

Таким образом, влияние сорта громадно, и очень важно сохранять и распространять на семена клубни негниющих сортов.

Мы выше упомянули, что, кроме картофеля, растением высшей продуктивности, чем хлеба, являются еще корнеплоды; эти растения тоже специализированы по производству углеводов в большей мере, чем белков; из них особенно кормовые корнеплоды способны давать очень большой урожай, считая на сухое вещество, но это сухое вещество в них сопровождается еще большим количеством воды. Наименее водяниста сахарная свекла, она раза в два богаче сухим веществом, чем кормовые сорта; по валовому составу она вообще очень близка к картофелю, с той разницей, что место крахмала в ней занимает сахар.

Интерес к сахарной свекле может быть двоякий: 1) свекла может заменить картофель по числу «переваримых калорий» с гектара, и если нельзя доставить из-за транспортных затруднений всюду достаточно клубней картофеля для посева, то гораздо легче привезти семена сахарной свеклы. Их нужно всего 24 кг на га и можно при перевозке не защищать от мороза; но сахарная свекла требовательнее картофеля к почве и требует большего навыка по уходу в первые стадии роста — в этом ее недостатки в роли заместительницы картофеля.

2. Другого рода интерес имеет свекла как сахароносное растение, независимо от недостатка посевных клубней картофеля нужно продвинуть культуру свеклы на север, и опыт показывает, что современные расы свеклы, пройдя через строгую селекцию, дают под Москвой 17% сахара при урожае более высоком, чем на юге, при условии хорошей культуры (например, 30—40 т на ферме Петровской академии).

Имеется ряд способов домашнего использования сахарной свеклы, кроме непосредственного употребления ее в печеном виде [6*]: так, напри-

---

[6*] При варке свеклы в воде сахар из нее переходит в воду, и она становится менее сладкой; если же корни печь, то они теряют часть воды и становятся более сладкими.

мер, можно готовить из нее или патоку, уваривая отжатый сок, или варить варенье с этим соком; но в сущности для этого не стоит отжимать сок, можно прямо брать измельченную на терке массу и варить ее с какими-нибудь ягодами (или без них); можно брать яблоки (низший сорт) и густо уваривать со свеклой (получается так называемое «повидло»); можно печь сладкие лепешки, прибавляя небольшое количество муки к измельченной на терке свекле. Интересен домашний способ «горячей дигестии», применяемой крестьянами в Черниговской губернии для получения патоки: в чугунный горшок наливается слой воды и над ним вставляется второе дырчатое дно (деревянное); затем горшок заполняется доверху свеклой, нарезанной ломтиками, закрывается сковородкой подходящего диаметра, по окружности замазывают тестом и ставят горшок на плиту или в печь при таких условиях нагревания, чтобы свекла была обварена и извлекалась сгущающимися на ней парами; на дне будет патока, сохраняемая впрок, наверху — свекла, непосредственно потребляемая в пищу или на корм[7*]. Наконец, сахарную свеклу можно сушить, готовя из нее подобие цуката (для этого лучше всего корни испечь, разрезать на ломтики, нанизать их на нити или на спицы и высушить в печке). Сушеную свеклу можно разваривать по мере надобности или размалывать ее в муку, которая удобно примешивается при приготовлении хлеба, киселей и т. п. Конфетные фабрики с выгодой вводят до 50% свеклы (в смеси с яблоками) для приготовления сладкой массы, причем специфический вкус свеклы совершенно замаскировывается обычной при приготовлении конфет примесью вкусовых и ароматических веществ.

Выше мы отметили, что наши урожаи чрезвычайно низки: их средний уровень в 2—3 раза ниже урожаев наших лучших хозяйств.

Какие же пути могут быть использованы для поднятия наших урожаев?

Значение хорошей обработки настолько очевидно, что, казалось бы, не требует особых разъяснений.

Наши опытные поля давно установили значение правильной и особенно своевременной обработки полей, выработали приемы обработки, которые весьма сильно варьируют в зависимости от местных условий.

Так, Полтавское опытное поле еще в сводном отчете за 1885—1900 гг.[8*] сообщило такой главный вывод относительно времени обработки пара: одно только перенесение вспашки с июня на апрель повышает урожай озимой пшеницы на безнавозном пару с 10,8 до 16,3 ц, или на 51%.

[7*] Описывается еще такой вариант (Тульской губ.); свекла парится в горшках (без воды), отжатый сок уваривается так, чтобы он затвердел, будучи разлитым в тарелки, слегка смоченные водой (такой «леденец» настолько тверд, что колется щипцами на кусочки, но, конечно, он имеет темную окраску).

[8*] Третьяков, Соколовский. Краткий отчет и т. д. Полтава, 1901.

Точно так же для яровой пшеницы своевременная обработка (лущение в июне и вспашка в октябре) дает 49% прироста против весенней вспашки.

Такие же результаты получены и для нечернозема; так, на опытном поле Петровской академии навозные пары обнаруживают следующее различие в зависимости от времени вспашки на двух хлебах (урожай в ц/га):

	Ранний пар	Поздний	Разность
Урожай ржи	25,2	16,5	8,7 (=50%)
» овса	16,6	13,5	3,1 (=25%)

Таким образом, в этом случае один прирост от своевременной обработки равняется целому урожаю, каким он получается на крестьянских землях [9*].

Урожаи опытного поля стоят, конечно, на таком высоком уровне, что нельзя абсолютные цифры прилагать к урожаям крестьянским, но если принять, что процентное отношение приростов от изменения времени вспашки остается тем же самым, то нужно заключить, что одним только введением раннего пара крестьянин нечерноземной полосы мог бы обеспечить себе продовольствие на круглый год, да еще в придачу получил бы повышенный урожай овса.

Но только эта мера может помочь улучшить положение с продовольствием на севере не ранее, как к зиме 1921/22 г., и, как выше разъяснено, там, где интересы картофельной культуры сталкиваются с наличностью чистых паров, уступить должны пары, а не картофель.

Если говорить не о ближайших задачах, а о возможных перспективах будущего, то интересно отметить, что если бы московские крестьяне имели такие урожаи ржи, как на опытном поле Петровской академии при раннем паре и навозе, и имели бы под рожью не 5, а 8% от площади губернии, то они имели бы хлеб на весь год не только для себя, но и для Москвы.

Улучшенные приемы обработки под яровые более варьируют сообразно местным условиям, чем обработка под озимые; отметим, что осенний «полупар» дает здесь прибавку в 34%; но введением картофеля в севооборот перед овсом вопрос об обработке под яровые упрощается сам собой.

Но самым важным фактором является удобрение навозом и замещающими его комбинациями минеральных удобрений с тем или иным источником перегноя в почве.

Главное хозяйственное отличие нечерноземных почв от чернозема состоит в том, что на них без навоза (или его эквивалентов) сколько-нибудь сносная культура невозможна; а количество навоза зависит от количества скота, поэтому высота урожаев стоит в тесной связи с развитием животноводства.

[9*] См. в Бюллетени опытного поля Петровской академии, например № 16, статью А. Г. Дояренко «Пути к поднятию урожайности озимых хлебов».

Чтобы унавозить десятину пара, нужно 33 т навоза, а это количество навоза может получиться не менее как от 4 голов крупного скота (лошадей и коров), или эквивалентного количества мелкого скота.

В ряде случаев можно было бы, однако, искать замены навоза другими материалами; вот на этом вопросе мы и остановимся.

Навоз является универсальным удобрением, будучи и источником питательных для растений веществ (азот, фосфор, калий, кальций), и средством воздействовать на физические свойства почвы (органическое вещество), и фактором, ускоряющим разложение органических веществ самой почвы (бактерии навоза) и процессы выветривания минеральных частей. Заменяющие же навоз удобрения являются большей частью односторонними; поэтому их нужно уметь комбинировать или если необходима только одна какая-либо сторона, то уметь ее верно определить, чтобы не тратить напрасно средств на внесение в почву того, чего в ней и без того много.

Наиболее односторонними, но и наиболее концентрированными носителями отдельных элементов пищи растений являются минеральные удобрения; при умелом пользовании они становятся мощным фактором земледельческого прогресса; какое значение они имеют для сельского хозяйства, видно уже из одного размера мирового производства, достигшего в 1912 г. 25 млн. т, причем приходилось (в млн. т):

на суперфосфат	10,8	селитру и аммоний	3,5
томасов шлак	3,9	калийные соли	4,4

Нередко минеральные удобрения противопоставляют навозу и пробуют их сравнивать; но это все равно, что сравнивать часть с целым, ибо навоз дает еще органическое вещество, влияющее на физические свойства почвы и биохимические процессы в ней. Нужно умело комбинировать минеральные удобрения с навозом (или зеленым удобрением), а не говорить о полной замене ими навоза.

Обычно думают, что причиной малого распространения минеральных удобрений в России была недостаточная культурность нашего крестьянства, и если относительно больше удобрений применяла Польша и Прибалтика, то это было показателем более высокого уровня культуры на Западе.

На деле же диктующим фактором был прежде всего фактор экономический: пока мы были страной, вывозящей хлеб на Запад, имел место своего рода закон зональности, закон убывания цен на хлеб от запада к востоку и возрастания цен на удобрения в том же направлении. Польша и Прибалтика имели удобрения по более дешевой цене, а хлеб продавали по гораздо более высокой цене, чем центр и восток России.

Теперь обстоятельства изменились, и московский крестьянин, прикупающий себе недостающий хлеб, охотно применял бы селитру и другие

удобрения, чтобы обеспечить себя своим хлебом и картофелем на весь год.

Пока же, взамен фабричных способов связывания азота воздуха, земледелец должен взяться за кустарные, не столь интенсивные, но зато ему самому доступные пути. Таковым является очень известный, но и очень мало нами до сих пор использованный прием — культура азотособирателей (бобовых).

Правда, одно такое растение уже играет известную роль в нашем хозяйстве — это клевер, но мы преждевременно успокоились, сделав один, далеко не достаточный шаг на этом пути: клевер нельзя повторять несколько раз в севообороте; кроме того, он у нас сеется вместе с тимофеевкой, а эта смесь представляет аппарат медленного действия; да и главную часть азота при этом использует тимофеевка. Конечно, азот тимофеевки в конце концов тоже будет в навозе, затем в почве, а затем как будто и в хлебе; но дело в том, что, кроме отсрочки на несколько лет, при этом потеряется по крайней мере половина азота, вследствие плохого хранения у нас навоза.

Нужны, кроме этого, другие пути, а именно: 1) культура люпина на зеленое удобрение в пару; 2) подсев под рожь однолетних азотособирателей для запахивания или скармливания в том же году осенью (независимо от подсева клевера под яровое).

Какие изменения в хозяйстве может вызвать систематическое проведение культуры люпина (наряду с другими необходимыми дополнениями), показывает пример одного хозяйства в Германии.

В 1855 г. Шульц получил в заведование хозяйство в Люпице, где бедная песчаная почва, поросшая вереском, давала лишь скудное пастбище для овец; отсутствие кормов не позволяло получить навоза, без навоза почва не давала урожаев; хозяйство давало убытки. К удивлению хозяина, одно растение на этой почве обнаруживало пышный рост — это люпин. Много ранее, чем физиологи открыли способность бобовых усваивать азот воздуха (1886 г.), Шульц заметил, что это растение, при снабжении его калийной и фосфатной пищей, не только умеет само обеспечить себя азотом, но еще обогащает им почву и тем повышает урожай следующих растений. В этом он увидел способ заменить непосильные для себя расходы на закупку дорогих азотистых удобрений, построил хозяйство на внесении калия и фосфора (каинита и томасова шлака) под люпин и достиг ценой нескольких десятилетий работы в своем безнавозном хозяйстве не только поднятия урожаев ржи и картофеля, но и возможности видеть хороший рост пшеницы на прежде бесплодной почве Люпица!

Интересен опыт Шульца с беспрерывной культурой люпина на одном месте при калийно-фосфатном удобрении, начатый в 1865 г. Через 15 лет анализ профессора Меркера показал, что количество азота в почве (до 20 см) возросло с 0,03 до 0,09%, а в слое от 20 до 40 см от 0,016 до 0,025%, что составляет увеличение запаса азота на гектар приблизительно на 18 ц; а так как в укосах люпина за 15 лет было около 12,7 ц азо-

та, то всего прибыль азота составляет 31 ц, или около 2 ц азота за год[10*]. В 1890 г. анализ почвы был повторен профессором Гольденфлейссом; оказалось, что содержание азота в почвенном слое еще раз удвоилось — оно достигло 0,176%; почвенный слой обогатился гумусом, стал даже на взгляд существенно отличаться от соседних делянок, не видавших воздействия люпина+каинит+томасов шлак. Автор настоящей статьи видел в 1892 г. хороший рост пшеницы на полях Люпица, представлявших оазис по сравнению с рядом лежащими пустошами, еще не видавшими приложения этой системы. Многолетняя культура люпина, вместе с калийными и фосфатными удобрениями и с известкованием, привела к коренному изменению свойств почвы, к изменению направления биологических процессов в ней и обогащению ее питательными веществами.

Опыты применения «люпицкой системы» в России имеются, они начались с запада, сначала в Польше, затем в Черниговской, Минской и смежных губерниях.

Отметим опыты профессора Будрина в Новой Александрии, который в течение 20 лет (1880—1900 гг.) получал регулярно урожаи в 15 ц ржи без навоза в двупольном севообороте: 1) картофель, 2) рожь + люпин, а при минеральных удобрениях (без азота) урожаи подымались до 22 ц. В последнее время чрезвычайно рельефные данные о люпиновом удобрении сообщены для Черниговской губернии Новозыбковской опытной станцией; но наиболее убедительны данные коллективных опытов, проведенных на крестьянских землях в той же губернии. Приведем лишь такие примеры[11*].

	Урожай ржи (в ц/га)			Урожай ржи (в ц/га)	
	без удобрения	по люпиновому удобрению		без удобрения	по люпиновому удобрению
Песчаная почва	6,0	12,7	Легкий суглинок	9,0	20,6
То же	4,3	9,4	То же	6,3	22,3
Супесчаная	9,6	20,0			

Для северной России желательны формы, еще менее требовательные к теплу, чем обыкновенный синий люпин. Такой формой обещает быть люпин многолетний (L. perennis), нетребовательный к теплу (он дико встречается в Канаде) и рано развивающийся; при посеве в июле по типу

[10*] Ради сравнения напомним, что с обычным количеством навоза (30 т) вносится около 1,5 ц азота на гектар.

[11*] См.: Алексеев. Люпиновое удобрение – основа песчаного хозяйства, 1920.

озимого (или лучше подсевом под яровое, предшествующее пару), в июне он уже цветет и может быть запахан. К почве он также нетребователен, как и однолетние люпины, дает больше органического вещества (и азота в нем), чем эти последние; опыты с этим люпином в Петроградской губернии дали отличные результаты.

Кроме посева и запахивания на месте (в пару), люпин этот может быть использован иначе: если его посеять на особом участке (вне севооборота), то он способен в течение 8—10 лет давать по два укоса зеленой массы (100 ц сухого вещества), которая может быть свезена на паровое поле и там запахана. Для полной замены навоза нужно добавлять фосфор и калий, например в виде фосфорита, который люпином хорошо используется, и золы, о чем будет речь ниже.

Такое люпиновое поле будет играть в хозяйстве роль «завода» по использованию азота воздуха, конечно, скорее кустарного типа, но везде легко осуществимого, ибо источник энергии для него всюду имеется (солнечные лучи), а чтобы создать улавливающий аппарат, нужно только достать семена люпина. Азот в люпине обойдется во много раз дешевле азота селитры и циапамида. Люпин может дать не меньше азота, чем 30 т навоза, что втрое превышает количество азота в обычной дозе селитры (3 ц/га). Далее желательно использовать и другие азотособиратели кроме люпинов; особенно интересно было бы найти бобовые, пригодные для весеннего подсева под рожь, с тем чтобы к сентябрю того же года иметь корма или запахать цветущую массу на зеленое удобрение. Можно использовать для этого два растения — сераделлу и хмелевидную люцерну; сераделла с успехом привилась в Черниговской и Минской губерниях, но для Московской и более северных губерний необходимо еще найти подходящие расы или подходящие методы посева.

Азотособиратели типа клевера, сераделлы, люпина играют роль посредника, служа источником азота, или для производства молока и мяса, или для производства хлеба в годы, следующие за их культурой. Есть азотособиратели, которые дают пищевой белок в первый год,— это горох, бобы, чечевица и вика; притом они дают этого белка в 2—2,5 раза больше, чем рожь. Выше было отмечено значение этих растений в связи с расширением культуры картофеля, но и независимо от этого важно на севере увеличить список яровых культур этими азотособирателями.

Кроме азота воздуха, улавливаемого азотособирателями, есть у нас еще недостаточно использованный резерв — это азот торфа. Не дожидаясь, пока техника начнет использовать азот торфа для получения аммиака попутно на генераторных установках, сельские хозяева должны сами широко применять торф как источник азота в своем хозяйстве. Для этого его следует «проводить через скотный двор», т. е. употреблять в подстилку в дополнение соломе или подстилать на дно гноища перед заполнением его навозом, переслаивать торф с навозом, накрывать им готовые навозные кучи. В торфе, зараженном бактериями, протекают процессы разложения, азот переходит из закрепленных форм в менее стойкие соеди-

нения. Кроме того, торф сберегает от улетучивания аммиак, образующийся при разложении навоза (и удерживает жижу от стекания). Таким образом торф вдвойне способствует обогащению навоза азотом; количество навоза увеличивается не в ущерб, а на пользу его качеству.

Вопрос об источниках фосфора для России имеет еще более общее значение, чем вопрос об азоте, так как в азоте нуждается преимущественно нечерноземная полоса, недостаток же фосфора сказался давно и на черноземе.

Казалось бы, что фосфатный вопрос мы должны были бы решить благополучно, ибо мы имеем у себя и сырье (фосфориты, кость), имеем и материалы, требующиеся для его переработки (колчеданы); и тем не менее благополучия в этой области нет. До революции мы жили преимущественно или суперфосфатом привозным, или приготовленным из привозных материалов (на заводах в Петрограде, Риге, Виннице).

В 1909 г. нами было указано на основании лабораторных опытов [12*] на возможность приготовления суперфосфата из костромского фосфорита, и в 1909 г. возник первый завод в Кинешме.

Перед войной 1914 г. Пермское и Вятское земства получили субсидию на постройку завода в Перми, но успели построить только сернокислотный завод, а затем война отняла кислоту у всех заводов. Зато появилась кислота отходов (на одном Сергиевском заводе по 13 тыс. т в год, на Охте 3 тыс. т и т. д.), вполне пригодная для производства суперфосфата [13*], но ее использовать не сумели вследствие трудности разработки и подвоза фосфорита и отсутствия мельниц. После войны должно освободиться громадное количество серной кислоты для производства суперфосфата. Пока же там, где можно, надо применять простой размол фосфорита, отыскивая условия, способствующие растворению этого труднодоступного для растений источника фосфора.

К этой задаче можно подходить несколькими путями:

Во-первых, по Энгельгардту, применять фосфоритную муку в районе оподзоленных и заболоченных почв, с тем чтобы почва, имеющая кислые свойства (или не насыщенная основаниями), постепенно подготовила фосфорит к использованию его растениями.

Во-вторых, по Лебедянцеву, можно стремиться большими дозами размолотого фосфорита усилить получаемый эффект и там, где почва не обладает ясной кислотностью (область серых лесных земель, деградированного чернозема). На Шатиловской опытной станции оказалось достаточным утроение дозы, чтобы получить от фосфорита тот же эффект, как от суперфосфата; на Елецком опытном поле в 1919 г. получены еще более благоприятные результаты. Но только местный опыт может очертить границы возможного использования этого приема.

[12*] Труды комиссии по химической переработке фосфоритов, вып. I—VI, под ред. автора (1910—1920).

[13*] Это было показано нашими опытами (см. вып. III. «Трудов комиссии по химической переработке фосфоритов», 1912).

В-третьих, можно компостировать фосфорит с торфом, чтобы кислотность торфа подготовила переход фосфорной кислоты в усвояемое состояние.

В-четвертых, по данным наших опытов и опытов П. С. Коссовича, возможно использовать особенности некоторых растений, прежде всего люпина, прекрасно использующих фосфорит. Поэтому введение посевов люпина в пару, помимо азота и органических веществ, даст почве усвояемый фосфор за счет фосфорита (при разложении запаханного люпина получатся уже иные формы, иные соединения фосфорной кислоты, чем труднодоступные соединения в фосфорите).

В-пятых, согласно нашим наблюдениям и последующим наблюдениям других лиц, аммиачные соли способны, при участии растений, быть источником кислотности в почве, достаточной для разложения фосфорита.

В-шестых, согласно нашим опытам, встречаются особенные фосфориты, выделяющиеся доступностью своей фосфорной кислоты непосредственно, без всякой обработки; такие свойства нами констатированы для сенгилеевского фосфорита и иных, которые геологами относятся к гольтскому ярусу. Таковыми, по-видимому, окажутся и фосфориты Спасского уезда, Тамбовской губернии, теперь подвергающиеся исследованию. Все фосфориты этого типа после простого размола дают продукт, значительно превосходящий по усвояемости костяную муку и приближающийся к томасову шлаку.

Вот каковы окольные пути, к которым приходится пока прибегать вместо широкого снабжения сельского хозяйства суперфосфатом. Кое-где эти пути помогут, но общего решения, конечно, не дадут до тех пор, пока не разовьется новая промышленность, которая даст суперфосфат и другие фосфаты.

В вопросе об источниках калийных удобрений приходится стать на несколько иную точку зрения, чем в случае азота и фосфора. В то время как потребность в фосфоре является почти общей для почв европейской части России (кроме юго-востока), а потребность в азоте сильно выражена для громадной зоны нечерноземной России, резкую потребность в калии можно считать, пожалуй, интразональной. На первое место она выступает на почвах песчаных, торфяных и почвах сильно оподзоленных; черноземы же и суглинки обычно не реагируют на калийное удобрение, пока не удовлетворена потребность в фосфоре или азоте (или в том и другом).

Война и блокада прекратили ввоз калийных солей из-за границы, и нам необходимо учесть наши собственные источники калия. Таковых можно указать несколько: на первом месте стоит зола; за ней идут горные породы, богатые слюдой и другими калийными минералами; дальше может быть речь об использовании золы водорослей [14*] на берегах Северного Поморья (кроме того, идут геологические изыскания).

[14*] Попутно с добыванием иода.

Зола у нас получается в больших количествах — около 1,6 млн. т, считая только дрова и солому как источник золы. Особенно богата калием зола травянистых растений, а из древесных — лиственные породы богаче калием, чем хвойные, как видно из следующего сопоставления:

	Гречишной соломы	Ржаной соломы	Дров березовых	Дров сосновых
Содержание K_2O в золе:	25%	11—19%	9—10%	6%

Для сравнения напомним, что добываемый в Стассфурте каинит содержит 13% K_2O, карналлит — 9%, а 30%-ная соль готовится уже из них путем очищения, как побочный продукт при приготовлении хлористого калия.

Таким образом, зола березовых дров и ржаной соломы не уступает стассфуртским солям по содержанию калия, но превосходит их по значению сопутствующих калию веществ. То, что калий содержится в золе в виде углекислой соли, есть ее преимущество (например, при удобрении картофеля); но еще важнее то обстоятельство, что вместо нежелательных примесей ($NaCl$, $MgCl_2$, $MgSO_4$ в стассфуртских солях) зола содержит полезные соединения, а именно фосфорную кислоту (около 3%) и значительные количества извести, которой также недостает нашим северным почвам.

При применении золы нужно различать два рода случаев: 1) если мы имеем в виду исключительно пополнение недостатка калия в почве, то золу следует применять в небольших количествах (4,5 ц/га березовой золы, 7—9 ц золы сосновых дров); 2) если хозяйство так богато золой, что может себе позволить роскошь избыточного применения калия, то применяют 15 ц и даже 30 ц на гектар (в нечерноземной России); тогда получается обильное внесение фосфорной кислоты[15*] и, кроме того, энергичное косвенное действие оснований золы, благоприятно сказывающееся на северных, бедных основаниями почвах. Разложение органического вещества при этом принимает желательный характер, так что нередко усиливается и нитрификация (а тогда зола, принося с собой калий, кальций и фосфор, способствует косвенно и усилению азотистого питания растений).

Если золу трудно сделать общедоступным рыночным продуктом, то каждый хозяин у себя дома легко может ее собирать и утилизировать, и нужно, чтобы эта мера не осталась только временной, а всегда использовалась зола своего хозяйства[16*].

В перечне мер, ведущих к увеличению производства пищевых средств на севере, нами было отмечено на четвертом месте уплотнение севообо-

---

[15*] Находящийся в золе в очень усвояемой форме (см.: «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», начиная с IV тома). Поэтому зола, вымытая водой и лишенная калия, сохраняет еще ценность благодаря содержанию P_2O_5 и CaO.

[16*] Подробнее об этом см. в статье автора «Непризнанный Стассфурт» (1919).

ротов, т. е. лучшее использование имеющейся уже теперь пахотной площади.

Одно из характерных отличий нашего полеводства от западного состоит в том, что там число собираемых урожаев больше, чем число лет в севообороте (n), причем это повышение (x) тем больше, чем благоприятнее климат страны. Так, например, в Италии сумма урожаев ($n+x$) за время севооборота больше, чем в Германии, у нас же она не только ниже относительной, но ниже самой величины n: при трехполье этот показатель равен только $^2/_3$, т. е. два урожая получают за три года, а при удлиненных севооборотах обычно $n-1$, так как мы имеем незанятые пары и не имеем вставочных (дополнительных) культур.

Примеры таких культур мы привели попутно раньше (помимо занятия пара картофелем), например когда говорили о подсеве ко ржи однолетних азотособирателей, дающих укос в тот же год.

Возможны подсевные культуры не одних трав, а и корнеплодов (конечно, на лучших почвах); так, например, морковь может быть подсеваема под озимь, а еще лучше — под яровые масличные, если они высеваются рядами с достаточно широкими междурядьями (или вообще не очень затеняют почву).

Удачный пример такого подсева мы имеем, например, на Сумской опытной станции, где морковь высевалась вместе с маком (в те же рядки), после уборки мака морковь имеет еще время для образования достаточного урожая (около $^2/_3$ нормального урожая моркови).

Для нечерноземной России мак нужно заменить северными масличными, как сурепица, горчица, рыжик, особенно стоит испытать такую культуру со льном на масло при широкорядном посеве.

Кроме моркови, для северной России представляет интерес из корнеплодов для подсевной (а иногда и пожнивной) культуры турнепс. На ферме Петровской академии были проведены удачные опыты подсева турнепса (рядами) под вику с овсом (высеянные вразброс); после уборки вики на сено междурядья промотыживаются, начинается более энергичное развитие турнепса и он дает весьма удовлетворительный урожай.

Возможен и пожнивной посев турнепса, лучше всего после вики с овсом; еще больше времени остается для развития турнепса после уборки ранних смесей, как озимая вика с овсом; к югу и западу от Москвы можно использовать посев турнепса пожнивно, т. е. после ржи.

Возможны и другие типы уплотнения севооборотов, например посев озими по типу херсонского пара, т. е. до уборки пропашного (на юге — кукурузы) по промотыженным междурядьям; на севере роль кукурузы могут играть конские бобы или северные масличные, при широкорядном посеве.

Есть еще и другой способ «вдвинуть» посев озимых в занимающую поле культуру — это встречающийся в Сибири посев «ржи-веснянки». Известно, что типичные озимые при высеве даже весной кустятся, но не дают стеблей в год подсева; основываясь на этом, крестьяне степных

мест Западной Сибири, где озимая рожь без снежного покрова не выдерживает зим, сеют рожь под овес (весной высевают смесь овса и ржи), при уборке овса оставляют жнивье повыше, чтобы удержать снег от сдувания, снег накопляется на этом поле, и рожь благополучно перезимовывает.

Возможно, что стоит испытать этот способ с другой целью — для уплотнения севооборота; тогда мыслима была бы культура без пара даже в тех районах, где картофель нельзя поместить в пару перед рожью; навоз должен вноситься с осени или частью вывозиться зимой под ржано-овсяную смесь, частью — под картофель [17*]. Кроме овса, возможно испытание и других растений (например, масличных) в качестве покровных для ржи.

Только опыт может показать, где нужно предпочесть тот или иной способ уплотнения севооборотов; мы хотели только указать, что даже в нашем климате имеется больше возможности, больше эластичности в полеводстве, чем это принято думать, но эти возможности не подвергались достаточному изучению.

Само собой разумеется, что разведение корнеплодов подсевом и иные пути «уплотнения» невозможны на бедных, плохо удобряемых почвах; в этом случае лучше всего уплотнять севооборот самыми нетребовательными растениями, во главе которых стоят картофель и люпин.

Итак, среди мер поднятия продуктивности полеводства и обеспечения севера своим продовольствием на первом плане в порядке спешности и важности стоит расширение культуры картофеля и зерновых бобовых, которое возможно начать уже с весны 1920 г. при условии своевременной доставки посевного материала. Это улучшит обеспечение продовольствием зимой 1920/21 г. Дальше идет ранняя вспашка паров, могущая дать полуторный урожай в 1921 г., возможное расширение запашки, тоже могущее сказаться на урожае ржи 1921 г. За этим следует более сложная задача — поднятие скотоводства (до 4 голов скота на гектар ржаного посева!); чтобы правильным унавоживанием поднять урожаи, нужно применять все возможные меры и пути для увеличения количества навоза при том же количестве скота (торфяная подстилка) и для замены навоза комбинацией зеленого удобрения (азотособиратели в пару и пожнивной культуре) с минеральным (фосфорит и зола) [26].

[17*] При этом последовательность была бы обратная обычной, а именно овес — рожь — картофель; если рожь просеяна широкорядным посевом, то осенью ряды должны быть пропаханы. Это, конечно, не может дать лучших условий для ржи, но выгоднее жертвовать частью урожая ржи, чем картофеля.

БЛИЖАЙШИЕ ЗАДАЧИ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ [27]

(ДОКЛАД В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СЕКЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПЛАНОВОЙ КОМИССИИ) *

Вопрос о размерах потребности в минеральных удобрениях для России в прошлом нередко находил одинаково поспешное и категорическое решение в двух прямо противоположных смыслах. Одни находили, что мы еще не доросли до применения минеральных удобрений как последнего слова западноевропейской техники в области земледелия, что сначала нужно выполнить более элементарные задания в области обработки почвы и применения навоза, а пока этого не сделано, заниматься пропагандой применения минеральных удобрений бесполезно. Другие же думали (и это мнение было самым обычным), что неприменение минеральных удобрений равнозначно простой неграмотности, а некоторые договаривались и до требования принудительных мер по отношению к крестьянину в смысле обязательного применения суперфосфата и других удобрений, забывая о том, что когда нет удобрений и нельзя удовлетворить имеющегося спроса, то бесполезно говорить о мерах принуждения в этой области (не говоря уже о принципиальной вредности самого принуждения для той идеи, которую хотят проводить в жизнь).

На деле же применение минеральных удобрений, как и всякая хозяйственная мера, зависит больше всего от экономических соотношений, и с переменой этих соотношений решение вопроса для той же самой страны, на том же уровне техники, может стать совершенно иным.

Как раз экономические условия, являющиеся решающим фактором для применения минеральных удобрений в каждой стране, до войны были совсем неблагоприятные для удобрений в России.

В то время как мировое потребление удобрения составляло в 1913 г. свыше 25 млн. т, Россия едва достигала 160 тыс. т годичного потребления.

Обычно видят причину этого, как сказано, в малой культурности нашего крестьянства. На деле же крестьянин хлебородных губерний был прав, не применяя, например, селитры под хлеба, ибо если селитра стоила с доставкой на место 15 руб. за 1 ц, а рожь — 4 руб. за 1 ц, то применение селитры под рожь было бы убыточным. Опыт показал, что на один центнер селитры при благоприятных условиях можно получить следующее количество зерна в среднем: ржи — 3 ц, пшеницы — 4 ц, овса — 5 ц.

Вообще нельзя представить, чтобы такие удобрения, как селитра, могли где-либо на земном шаре передвигаться в ином направлении, чем пе-

* Впервые опубликовано отдельной брошюрой. М., Госиздат, стр. 39, 1921. Печатается по тексту первого опубликования.

редвигается хлеб. Если 1 ц селитры можно превратить в 4 ц хлеба, то выгоднее везти селитру, чем самый хлеб, в страны с высокими ценами на хлеб, пока в них еще возможно расширение применения селитры; только после их насыщения избытки селитры могли бы пойти в другие страны.

Сказанным объясняется, почему в Прибалтике и Польше удобрения находили большее применение, чем в центральной и особенно восточной России. Чем дальше на запад, тем цены на хлеб были выше, а на удобрение — ниже.

Лишь при более интенсивных культурах возможно было шире применять минеральные удобрения и в других районах; так, сахарная свекла создала определенный спрос на суперфосфат и отчасти на селитру, а лен чаще оплачивал калийные соли, чем хлеба. Вблизи столиц становилось выгодным применение удобрения под картофель (отчасти и овес), под огородные и садовые культуры; но все это были оазисы среди общего фона, неблагоприятного особенно для азотистых удобрений.

Война вызвала уже к 1916 г. подъем цен на хлеб, но она же лишила нас большей части удобрений. Дело в том, что Россия пользовалась преимущественно привозными удобрениями не только в тех случаях, когда своих источников не было (азотистые и калийные удобрения), но и в тех, когда было свое сырье (суперфосфаты). Даже та часть суперфосфата, которая производилась в России (в Петрограде, Риге, Виннице), готовилась преимущественно из иностранного сырья.

На общем фоне недостатка минеральных удобрений к 1916 г. наметилось одно исключение: скопление сернокислого аммония на коксовальных заводах Донецкого района; так как ему не было выхода через Дарданеллы (как до войны), то цены на него стали падать, а так как цены на хлеб уже стали подниматься, то было бы выгодным применить это ценное азотистое удобрение на почвах, наиболее в нем нуждающихся, и под культуры, наиболее ценные.

Однако загрузка железных дорог военными перевозками не позволила в 1916 г. осуществить план использования южных «залежей» сернокислого аммония на нужды нашего земледелия.

Остальные удобрения постепенно исчезали с рынка, а цены на хлеб начали непрерывно возрастать; вот теперь при громадной ценности хлеба, картофеля и других сельскохозяйственных продуктов применение минеральных удобрений могло бы принять небывалые размеры, если бы эти удобрения у нас были.

Конечно, кроме экономических условий, потребность в отдельных минеральных удобрениях может колебаться еще в зависимости от природных особенностей каждого района.

Так, по отношению к азотистым удобрениям мы наблюдаем значительную разницу между черноземной и нечерноземной полосой; типичные черноземы при хорошей обработке способны накоплять такие количества селитры за счет азота перегноя, что не только экономически, но и техни-

чески селитра является ненужной. Переходные почвы (серые лесные земли) уже более нуждаются в селитре, а весь нечернозем испытывает, можно сказать, «азотное голодание».

Если потребность в азотистых удобрениях может быть названа зональной, то для фосфорнокислых удобрений мы имеем более общую картину: почвы почти всей России, и чернозем и нечернозем, нуждаются во внесении фосфатов (исключение составляет юго-восток).

Благодаря этому, при всей изменчивости экономики, спрос на фосфаты нужно считать наиболее устойчивым, тем более что в этом случае мы имеем свое сырье. Затем фосфаты обходятся дешевле, чем азотистые удобрения, а тот факт, что они дешевле, а отношение между внесенным удобрением и приростом урожая у́же, чем в случае селитры, делает фосфаты менее выносящими перевозку (по крайней мере, сухопутную), менее наклонными двигаться по земному шару в направлении хлебного экспорта. Отсюда вытекает необходимость для такой громадной страны, как Россия, иметь несколько центров производства фосфатов. Значение фосфатов по сравнению с азотистыми удобрениями усиливается еще тем обстоятельством, что для фосфора нет иных путей поступления в почву, как внесение со стороны, а для азота существует круговорот между почвой и атмосферой. Разумным направлением деятельности почвенных бактерий возможно усилить фиксацию атмосферного азота почвой (культура азотособирателей); хотя этот путь является более медленным, чем внесение селитры, но зато он дешев и в применении его сельский хозяин не зависит от состояния транспорта и заводской техники. Этот экстенсивный путь России предстоит использовать как основной, а положительное решение вопроса о селитре и аммиаке будет ценной добавкой, но не отменой использования азотособирателей.

Для калия картина складывается еще по-иному, чем для азота и фосфора: потребность в нем наиболее выражена для некоторых видов почв (сильно оподзоленные почвы, осушенные торфяники, песчаные почвы) и некоторых культур (лен, клевер). Поэтому, хотя калийные удобрения в общем укладе хозяйственной жизни России являются как бы третьестепенными, в некоторых случаях потребность в них может выступать на первое место или быть столь же выражена, как потребность в азоте и фосфоре.

Конечно, нельзя отрицать, что, кроме общего экономического фона и природных особенностей для успешности применения минеральных удобрений необходим известный технический фон (состояние техники земледелия), но не следует преувеличивать отрицательное влияние этого фактора на возможность применения минеральных удобрений у нас.

Так, само собой понятно, что на заросшей пыреем пашне применять селитру не стоит, ибо она пойдет на пользу и пырею и не даст пшенице лишних шансов в борьбе с пыреем. Точно так же не подействует удобрение, если вследствие плохой обработки в почве нехватает воздуха для дыхания корней; этим объясняется, почему при опытах в Московской и Смоленской губерниях часто удобрения лучше действовали на землях

владельческих, чем крестьянских: при недостатке навоза, недавнем травосеянии и плохой обработке оподзоленные почвы севера обладают худшими физическими свойствами, чем там, где давно сеется клевер, правильно применяется навоз и обработка ведется лучше. Особенно легко это может случиться с рожью, под которой почва за зиму сплывается; менее легко с овсом, под которым она весной перепахивается, и еще реже с картофелем, который требует рыхления и во время роста. Отзывчивость к удобрению в таких случаях выше всего у картофеля, затем идет овес и после всех рожь. В этом порядке и следует начинать применение удобрений в нечерноземной полосе России в тех случаях, когда физические свойства почвы являются препятствием к распространению минеральных удобрений. Параллельно принимают и меры борьбы с указанными причинами недостатка скважности в почве; такой мерой прежде всего является обогащение почвы органическим веществом, что достижимо не только с помощью навоза, но и при помощи зеленого удобрения. Как раз культура азотособирателей (люпина) в паровом поле в связи с минеральными удобрениями и является лучшим средством замены недостающего навоза.

Главные выводы из нашего краткого анализа этих соотношений таковы: в настоящее время применение минеральных удобрений в России (особенно в нечерноземной полосе) является насущной потребностью нашего земледелия, при этом потребность в фосфатах охватывает как чернозем, так и нечернозем; последний нуждается еще и в азоте (не менее, чем в фосфоре), а часть нечерноземной полосы требует и калийных удобрений (в особенности под некоторые культуры).

Применение удобрений не только может существенно поднять производительность труда: оно означает еще и крупную экономию на посевном материале. Так, например, чтобы получить 15 т картофеля, нужно потратить труд и семена на два гектара (наш средний урожай картофеля — 75 ц/га), а при удобрении то же количество собирается с одного гектара; кроме двойного труда еще напрасно тратится двойное количество столь дорогого весной посадочного материала для достижения того же самого результата.

Что касается размеров нашей потребности в минеральных удобрениях, то уже из вышесказанного следует, что довоенный масштаб их применения не является какой-либо, даже хотя бы самой приблизительной меркой для руководства в настоящем. Эта цифра (160 тыс. т в год) теперь никакого значения не имеет, потому что она относится к периоду дешевого хлеба; насколько он был дешев для крестьянина по количеству труда, это — другой вопрос, но он был дешев на рынке, его было легко привезти из Самары, с Кубани или из Сибири; и если перед жителями Московской губернии ставили вопрос, что лучше, вырастить ли хлеб у себя дома, купив удобрение и затратив труд, или же купить хлеб на рынке, заработав деньги гораздо более легким путем, то вопрос неизбежно решался во втором смысле, и надельные полосы зарастали лесной порослью. Это решение сейчас отпало, и сейчас гораздо целесообразнее населению

нечерноземной полосы самому произвести хлеб на месте, применив под него удобрения, добываемые по возможности тоже на месте (что для главных видов удобрения вполне возможно). Итак, цифра в 160 тыс. т не годится даже как низший предел нашей потребности в удобрениях, про нее нужно просто забыть, если иметь в виду действительное обслуживание нужд сельского хозяйства минеральными удобрениями.

С другой стороны, было бы, конечно, преувеличением определять нашу потребность, например, по германскому и тем более — бельгийскому масштабу и утверждать, что если мы имеем 80 млн. га пашни (включая паровые поля), то нам теперь же нужно иметь 20,5 млн. т туков в год (потому что Германия вносит их по 2,4 ц на гектар); преувеличением это будет уже по одному тому, что чернозем, испытывая фосфорное голодание, еще не так нуждается в азотистых удобрениях, как почвы Германии; точно так же потребность в калийных удобрениях не выразилась еще со всей ясностью для многих из наших почв (черноземы, глинистые и суглинистые почвы обычно слабо реагируют на них).

ИСТОЧНИКИ ФОСФОРА [28]

Наиболее универсальным видом фосфатов, во всех странах играющим главную роль, являются продукты химической переработки фосфоритов, главным образом суперфосфаты; за ними по значению следует томасов шлак, костяная мука и размол непереработанных фосфатов (фосфоритная мука).

Остановимся на возможных районах возникновения заводов по технической переработке фосфоритов разного типа.

Прежде всего перед нами стоит задача правильно развернуть крупное производство фосфатов, основываясь на использовании наших фосфоритов и нашего колчедана; необходимость эта вытекает не только из соображений, 1) касающихся военного времени, 2) но и из задач мирного периода.

1. При базировании фосфатной промышленности на привозном материале (фосфориты и колчеданы) в случае войны страна остается не только без удобрения, но лишается и той серной кислоты, которая шла на фосфатные заводы и необходима для дела обороны. Когда Германия начинала войну, она обладала сотней фосфатных заводов, которые являются в то же время заводами серной кислоты, которые сразу можно было перестроить с суперфосфатного дела на иное назначение. Россия же, потеряв западные заводы и сырой материал, должна была на ходу приспособляться к новым условиям, постепенно создавая новые и расширяя те из старых сернокислотных заводов, которые лежали глубже в стране, и используя уральский, а не привозной колчедан.

2. Центр и особенно восток не могут быть обеспечены дешевым суперфосфатом без использования наших залежей, даже и при открытой границе. Так, прежде Рига и Петроград не могли дать дешевых фосфатов для Казанской, Вятской и Пермской губерний, так как провоз слишком

удорожает этого рода грузы, особенно когда движение суперфосфата идет в направлении, обратном хлебу.

Поэтому, чем больше будет развита наша собственная промышленность, тем дешевле будут суперфосфаты внутри страны в мирное время, тем меньше потрясений будет испытывать сельское хозяйство в случае войны и тем легче будет организация обороны страны.

Вопрос об использовании фосфоритов России ** для переработки в суперфосфаты является сравнительно новым: до 1908 г. они считались непригодными для этой цели, как слишком загрязненные примесями и дающие низкопроцентный продукт. Весной 1908 г. совещание по вопросу об использовании русских фосфоритов на суперфосфатных заводах признало их материалом, непригодным для этой цели, решило поставить опыты переработки их более сложными путями: в двойной суперфосфат и преципитат. Предложение поставить такие опыты было направлено департаментом земледелия в Петровскую академию, предложение это было принято и выполнено в лаборатории автора настоящего обзора, но с тем видоизменением, что одновременно были организованы опыты и по приготовлению простого суперфосфата, доказавшие (вопреки мнению петроградского совещания и согласно ожиданию автора), что из костромского и вятского фосфорита можно готовить простой суперфосфат [3*].

Эти опыты 1908—1909 гг. совпали с началом систематического исследования фосфоритных залежей экспедицией профессора Самойлова; то и другое вызвало повышение интереса к нашим залежам и начало заводских опытов по выработке суперфосфатов (Бурнаев, 1909; Ушковский завод, 1910). У Бурнаева (в Кинешме) опыты перешли в регулярное производство суперфосфата, Камский же завод Ушковых не решился начать такое производство, считая спрос на суперфосфат недостаточным.

Но в этом расчете была неправильность, ибо недостаточным был спрос на суперфосфат, привезенный из Риги и Петрограда, обремененный стоимостью провоза; совершенно другой спрос проявился бы, если б местное производство дало продукт дешевле рижского на стоимость провоза. Чтобы выйти из такого ложного круга, решили еще в 1913 г. строить суперфосфатный завод (используя вятские фосфориты и уральский колчедан); но война не дала докончить постройки завода.

Эти два начинания, основанные на использовании костромских и вятских фосфоритов, наиболее интересны и теперь, потому что работы сотрудников профессора Самойлова доказали значительность не только общего запаса в залежах, но и той части, которая непосредственно доступна для выработки в ближайшие годы (особенно в вятском месторождении).

** Подольские фосфориты стоят особняком; они более высокопроцентны и раньше частично вывозились в Австрию как хороший материал для суперфосфатов.

[3*] См. серию «Отчетов об опытах по химической переработке фосфоритов», под редакцией автора (вып. I—VI); см. также «Известия Петровской академии» с 1908 по 1921 г. и статью «О химической переработке наших фосфоритов» [Избр. соч., т. 3, 1953].

Исследования экспедиции профессора Самойлова для всей почти европейской части России привели к следующему итогу:

		Процент от всего количества
Имеется у нас фосфоритов, пригодных для непосредственной переработки в простой суперфосфат (>24% P_2O_5)	139 млн. т	2,5
Фосфоритов, пригодных для той же цели при условии некоторых приемов (обогащения) с содержанием P_2O_5 в 18–24%	1680 млн. т	30,6
Фосфоритов, пригодных для химической переработки лишь по более сложным способам *	3660 млн. т	66,9

* Но там, где возможно прямое применение фосфоритной муки, эти фосфориты пойдут в дело после простого размола.

В первую очередь для нас интересна первая группа, процентно слабо представленная, но способная на много лет дать обильный материал для развития в Поволжье суперфосфатной промышленности; костромские и вятские фосфориты относятся как раз к первому типу.

Нужно сказать, что наши фосфориты залегают не так выгодно, как, например, алжирские, именно не сплошным и не столь мощным слоем, поэтому выработка их стоит большого труда и более тщательного предварительного изучения. Для части залежей после изучения геологического произведены горнотехнические разведочные работы.

Так, в Кинешемском районе такими разведками намечены пункты, способные дать при работе штольнями в ближайшее время 410—500 тыс. т фосфорита, непосредственно пригодного для переработки в суперфосфат. Дальнейшие разведки ведутся в целях определения мест, доступных для разработки экскаваторами, а также ведутся работы по вопросу о механическом обогащении фосфорита, при разделении высокопроцентных желваков от цементирующей породы, также подлежащей использованию, но с иным назначением (фосфоритная мука).

Кинешемским фосфоритом снабжается местный суперфосфатный завод, ведущий работу, однако, в скромных размерах. Более крупным и пока единственным правильно оборудованным суперфосфатным заводом является Чернореченский завод в Растяпине (Нижегородская губерния). В этом месте еще во время войны был выстроен сернокислотный завод в расчете, что после войны кислота будет использована для других целей — на приготовление удобрений (место выбрано так, чтобы подвоз фосфорита и колчедана был возможен по Волге и Каме). К 1920 г. там выстроен и пущен в ход и суперфосфатный завод, рассчитанный на производство 19 тыс. т суперфосфата в год. Однако этот единственный у нас крупный завод не может работать полным ходом, так как Кинешемские рудники не в состоянии снабдить его фосфоритом более чем на $^1/_3$ его потребности. Необходимо усилить снабжение этого завода из другого ис-

точника; таким источником, важным не только для Растяпинского завода, но и вообще наиболее интересным с точки зрения организации крупной промышленности, являются верхнекамские фосфоритные залежи (Слободской уезд Вятской губернии).

Разведки, произведенные там А. В. Казаковым в 1918—1920 гг., обнаружили на общем фоне, ранее уже намеченном экспедицией профессора Самойлова, определенные фосфоритные поля, доступные для разработки без далекого углубления в земные недра (без устройства шахт и штолен), допускающие широкую постановку добычи открытым путем, с помощью экскаваторов, при одновременной механизации транспорта, мойки и сушки фосфоритов. За два года разведок зафиксировано 3,3 млн. т запаса, доступного для непосредственной разработки, но так как разведочная площадь составляет ничтожную долю от общей площади залежей, залегающих в необъятной лесной глуши, то там ожидаются миллиардные запасы неглубоко залегающих фосфоритов, относящихся к первосортному материалу. В мировом масштабе эти залежи приближаются к каролинским [4*]. Эксплуатация этих залежей облегчается громадными запасами лесного топлива, но требует проведения дорог и улучшения условий сплава по Каме.

Вообще организация добычи фосфорита у нас не отвечает задачам момента и отстает даже от едва начавшегося движения в области заводской переработки; эта сторона дела требует особого внимания, так как значение ее неправильно преуменьшалось. По справке, приведенной А. В. Казаковым, в Америке добыча каролинского фосфорита обходилась в довоенное время 75—96 коп. за 1 ц (в золотой валюте), а работа суперфосфатного завода (не считая сернокислотного) обходилась в 12 коп. за 1 ц продукта (суперфосфата); это составит 24 коп. за 1 ц фосфорита, т. е. добыча обходится в 3—4 раза дороже переработки. Ясно, что для питания сырьем таких заводов, как Растяпинский, необходимо прежде всего позаботиться об организации добычи, о создании фосфоритных рудников, хорошо оборудованных с технической стороны.

Пока только Кинешемский и Чернореченский заводы являются действующими заводами; таковым может быть еще завод в Петрограде при условии снабжения топливом и сырьем [5*]. Далее к постройке намечаются кроме Пермского завода еще Самарский и Саратовский.

В Самаре наличие сернокислотного завода и завода, дающего отбросную кислоту, побуждает достроить суперфосфатный завод с тем, чтобы фосфориты доставлялись по Волге (из Кинешмы, с Камы, из Саратова и пр.).

В Саратове намечается к постройке суперфосфатный завод, ввиду того что там имеется (недостроенный) кислотный завод и ведется добыча

[4*] См. статью А. В. Казакова в «Народном хозяйстве», декабрь 1920 г.

[5*] Однако снабжение сырьем этого завода, рассчитанного на заграничный фосфорит и колчедан, много труднее, чем снабжение заводов Поволжья.

местного фосфорита, хотя уступающего костромскому и вятскому, но все же годного для переработки в обогащенные продукты (если вятские залежи будут правильно разрабатываться, то они снабдят сырьем и Саратов). Имеется в виду, что заводы южного Поволжья должны снабжать суперфосфатом Туркестан и Закавказье; из южных культур хлопок, а особенно люцерна способны хорошо оплачивать суперфосфат; ввиду того что люцерна дает при орошении по 4 укоса за одно лето и фосфаты повышают одновременно и накопление азота люцерной. Для Туркестана удобрение люцерны фосфатами должно войти в систему, как средство обеспечения хозяйства и фосфором и азотом, поднятия урожаев хлопчатника и пшеницы, при одновременном обеспечении животных кормами.

Вообще удобрение орошаемых земель должно быть признано первоочередным, ибо здесь действие удобрения выше, чем на неорошаемых землях (например, люцерна оплачивает внесенный весной суперфосфат крупным приростом четырех укосов за лето и при этом существенно понижается расход воды на каждую единицу веса урожая).

Нужны разведочные работы в Черниговской губернии, в Курмышском уезде Самарской губернии и на Урале (близ Екатеринбурга), в последнем пункте обнаружен фосфорит высокого качества, но количественная сторона подлежит выяснению. Далее, для Московского района интерес представляют боровские фосфориты, исследованные геологически, но нужно еще горнотехническое обследование; менее мощны, но ввиду близости к центру интересны, и московские фосфориты.

Выше отмечались лишь те районы, где возможно устройство заводов простого суперфосфата на нашем сырье, где фосфориты достаточно высокопроцентны или их качества не очень отступают от нормы.

Но, кроме этого, возможна другая группа заводов, которые возникали и будут возникать в приморских городах в целях переработки привозных фосфоритов с помощью кислоты, приготовленной из привозного колчедана.

Характерно, что не только в Петрограде и Риге, но даже в Виннице, вблизи от залежей Подолии и Бессарабии, работа шла на алжирском фосфорите, ввиду недостаточной обследованности подольских залежей, неудобств залегания фосфорита и плохих путей сообщения.

Но никак нельзя базировать все фосфатное дело на привозном материале, как это было до войны, и не только потому, что в случае войны этот источник отпадает, но и потому, что западные гавани не могут обслужить дешевыми фосфатами Пермь и Вятку, провоз по железным дорогам слишком удорожает стоимость этого рода товара (лучше не возить его дальше 500—600 км); у нас это удорожание отягчается еще удешевлением хлеба к востоку.

Как выше было отмечено, большая часть таких русских фосфоритов, как курские, рязанские, смоленские и многие другие, до мангышлакских включительно, не годится для переработки на простой суперфосфат; их предстоит употреблять после простого размола там, где особенности поч-

вы это позволяют, или перерабатывать по более сложным способам в высокопроцентные усвояемые фосфаты. В основе эти обработки сводятся к извлечению фосфорной кислоты из фосфоритов и ее концентрации в буквальном смысле слова (выпаривание раствора), или «концентрации» в условном смысле — путем очищения и получения высокопроцентных продуктов при осаждении фосфорной кислоты. Первый путь, ведущий к двойному суперфосфату, требует кислот и топлива, второй, приводящий к преципитату, требует кислоты и извести.

В двойных суперфосфатах единица растворимой P_2O_5 всегда обходится дороже, чем в простых, но зато получаемый высокопроцентный продукт (например, 40%-ный вместо 15—20%-ного) выносит далекую перевозку, поэтому в Западной Европе двойные суперфосфаты готовятся исключительно для колоний (например, в Южной Африке); у нас же мотивом производства может явиться низкопроцентность исходного материала.

Однако необходимо выработать пути, удешевляющие дорогую операцию сгущения раствора фосфорной кислоты; здесь может быть приложен вариант методического выщелачивания, позволяющий уже на холоду, например, из саратовского фосфорита получить вытяжку, втрое более концентрированную, чем при обычном способе (опыты в моей лаборатории).

Применительно к отдельным случаям могут быть выработаны приемы получения двойных или обогащенных суперфосфатов, позволяющие лучше использовать топливо и кислоту, чем при работе по общему шаблону. Во всяком случае производство двойного суперфосфата является делом крупных и благоустроенных заводов с хорошим химическим контролем.

Приготовление преципитата (дифосфата) в основе проще: оно может вестись на холоду, даже в деревянных чанах; для него могут быть использованы разные кислоты, как отбросная серная. Заслуживает внимания использование бисульфата для этой цели — опыты в моей лаборатории доказали полную возможность этого. Заслуживает быть отмеченным электролитический способ Пальмера, при котором известное количество соли хлорнокислого натрия, подвергаясь электролизу, дает кислоту для разложения фосфорита и основание — для преципитирования. Регенерированная при осаждении соль вновь подвергается электролизу, словом, здесь не нужно кислотного завода и извести, нужна только дешевая водяная сила. Точно так же при приготовлении норвежской селитры следовало бы не нейтрализовать азотную кислоту мелом, а употреблять ее на разложение апатита и фосфорита при получении дифосфата.

Наиболее дешевым источником кислоты для данной цели у нас может быть бисульфат, если будут по-прежнему скопляться значительные его количества в качестве отброса, не находящего дальнейшего использования: преципитатное производство дало бы ему хороший выход, одновременно служа задаче превращения низкопроцентных фосфоритов в высокопроцентный продукт хорошей усвояемости. Нужно отметить, что при всей ясности химической стороны дела необходима разработка со стороны

технологов приемов отделения и промывания осадков на фильтр-прессах и сушки влагоемкого продукта.

Существуют и другие пути получения высокопроцентных продуктов из низкопроцентного материала. Радикальным решением этого вопроса является способ возгонки фосфора (сплавление фосфорита с песком и углем, причем кремнекислота вытесняет фосфорную кислоту, восстанавливаемую до фосфора); способ этот дал хорошие результаты в Америке, желательны опыты и у нас. Здесь отпадает потребность в кислотах, но процесс идет при очень высокой температуре (электрические печи).

Впредь до выяснения приложимости этого приема, обещающего быть общим, заслуживают внимания для тех мест, где нет кислот, но есть топливо, еще некоторые способы переработки фосфоритов в термофосфаты по способу сплавления. Таковы так называемый Выборг-фосфат и Вольтер-фосфат, в которых фосфорная кислота по усвояемости отвечает томасову шлаку. Опыты в моей лаборатории по применению этих способов к нашим фосфоритам дали благоприятные результаты [6*], но такого производства в России пока не существовало (для него нужна дешевая сода, сульфат или бисульфат и другие соли щелочных металлов). Возможно комбинировать это сплавление с введением содержащих калий силикатов (полевых шпатов) в целях получения калийно-фосфатных удобрений.

Но прежде использования низкопроцентных залежей первой задачей настоящего момента является организация добычи фосфоритов в возможно большем числе пунктов в таких районах, где возможно и прямое применение фосфоритов. Если для суперфосфатного дела главную роль должны сыграть крупные, хорошо оборудованные рудники, то для второй цели — получения фосфоритной муки нужно вызвать к жизни возможно большее число местных хотя бы и некрупных предприятий. Такая разработка кустарного типа имеет уже место, например близ станции Сещинской, Смоленской губернии, в районе которой, как показал еще Энгельгардт, размолотый фосфорит оказывает на оподзоленных почвах хорошее действие. Опыты последнего времени позволяют надеяться на расширение области применения не переработанных химически фосфоритов и за пределами зоны подзолов; так, на Шатиловской опытной станции (Тульской губернии), на Елецком опытном поле получены очень благоприятные результаты с применением тройных доз хорошо измельченного фосфорита взамен суперфосфата. Следовательно, область, переходная к чернозему, может во многих случаях использовать фосфорит (микрогеография здесь еще подлежит выяснению), и орловский низкопроцентный «самород» может пойти на удобрение полей, вместо того чтобы заменять щебень при постройке шоссе.

Кроме того, и независимо от почвы фосфорит может найти применение при культуре растений, обладающих особенно сильной растворяющей

[6*] См. также работы профессора Острякова в Казани.

способностью корней; таков, например, люпин (опыты автора). Так как культуру люпина предстоит расширять, а именно сеять его в пару на зеленое удобрение, взамен недостающего навоза, то введение фосфорита позволит одновременно усилить азотусвояющую деятельность люпина и снабдить следующие культуры (рожь и картофель) удобоусвояемым фосфором запаханной массы люпина.

Далее, нашими опытами было обнаружено резкое растворяющее действие на фосфорит так называемых физиологически кислых солей; поэтому если бы возможно было доставлять из Донецкого бассейна получаемый на коксовальных печах сернокислый аммоний, то в комбинации с ним фосфорит мог бы быть применяем на любых почвах. Там, где есть торф, фосфорит может быть также подготовляем путем компостирования с торфом, при условии достаточно широкого отношения между фосфоритом и торфом и при использовании видов торфа, бедных золой (моховой торф).

Наконец, особого внимания заслуживают те фосфориты, которые обнаружили доступность фосфорной кислоты для злаков без всякой подготовки и без содействия кислотности почвы, по действию приближаясь к томасову шлаку. Таков сенгилеевский фосфорит и некоторые другие фосфориты, принадлежащие к определенному геологическому ярусу (гольтские фосфориты). Предположительно указывают на тамбовские фосфориты, как аналогичные сенгилеевским и заслуживающие разработки и размола на муку — без всякой химической переработки. Необходимы и горнотехническая разведка и организация выработки в соответственных районах. Такие залежи фосфоритов могут оказаться в сущности «рудниками томасова шлака» и представить интерес не только временно, в период отсутствия суперфосфатной промышленности, но и постоянный, ввиду ограниченности перспектив на выработку томасова шлака в России.

Кроме фосфоритов некоторое значение в качестве источников фосфора могут иметь томасов шлак и костяная мука. Так как томасов шлак получается при переработке руд, особенно богатых фосфором, а таковыми являются только руды Керченского района, то источник шлаков в России не обилен. Конечно, нужно принять все меры к размолу и транспорту имеющихся залежей немолотого шлака, но крупного развития шлакового производства ждать нельзя, и в будущем оно может служить некоторым дополнением, но не заменой суперфосфата.

Отметим, что, по полученным в лаборатории автора данным, фосфорная кислота мартеновских шлаков также отличается большой усвояемостью и при условии отделения более богатой фосфором части эти шлаки также могут иметь некоторое, хотя и весьма скромное, значение.

Костяная мука могла бы служить видным источником фосфорной кислоты: ее получали в европейской части России около 18 млн. пудов, из которых фактически перерабатывалось на заводах около $^1/_3$ (преимущественно в Петрограде), причем значительная часть переработанной кости уходила за границу. Имеющуюся кость следует собирать, перерабаты-

вать на жир, клей и фосфат, причем фосфат (костяная мука) найдет применение и без химической переработки, так как он легче, чем фосфориты, растворяется почвенными растворителями. Правильнее тратить кислоты на переработку фосфоритов, чем кости (лишь при приготовлении суперфосфатов кость трудно заменима, как материал для второго разложения). Нечерноземная полоса и север черноземной — вот районы наиболее вероятного применения фосфата костяной муки, не обработанной кислотами.

Но запасы кости и шлака не могут появиться до восстановления животноводства, с одной стороны, и металлургической промышленности определенных районов — с другой, да и тогда количество их будет ограничено размерами названных отраслей производства.

Только фосфоритные залежи представляют материал, теперь доступный, в каких угодно размерах, не зависящих от других производств. Поэтому все внимание государства в настоящий момент должно быть сосредоточено на добыче фосфоритов, притом двоякого назначения: высокопроцентных — на суперфосфат, низкопроцентных — на фосфоритную муку.

ИСТОЧНИКИ АЗОТА

Мы поставили вопрос об азоте на втором месте после фосфора потому, что потребность в азотистых удобрениях, так сильно выраженная для нечерноземной полосы (и во многих случаях для переходной зоны), еще не выразилась в ясной форме для типичного чернозема.

Что же касается нечернозема, то здесь возможны два рода путей пополнения азота, уходящего из хозяйства в виде зерна, мяса, молока[7*].

Один путь — это создание крупной промышленности, получение синтетического аммиака и цианамида за счет азота воздуха; другого рода пути — биологические, допускающие кустарное использование азота воздуха и азота торфа в каждом крестьянском хозяйстве.

При современном состоянии нашей промышленности можно определенно утверждать, что на ней пока нельзя базировать разрешение вопроса об азоте для сельского хозяйства и наибольшие результаты в ближайшие годы могут дать кустарные пути, основанные на биологических процессах (культура азотособирателей). Для того чтобы сделать доступным для каждого крестьянина использование азота воздуха с помощью азотособирателей, нужно устранить семенной голод в России, дав обильно семена клевера, люпина и сераделлы сообразно требованиям отдельных районов. Для этого нужно, кроме выписки из-за границы, немедленно организовать свои семенные хозяйства (начиная с весны 1921 г.) в Черни-

---

[7*] Кроме того, много азота теряется при хранении навоза, потери эти могут доходить до 50% от первоначального содержания азота; правильный уход может уменьшить эти потери, но в известной части они неизбежны.

товской, Минской и Гомельской губерниях, где хорошо знакомы с действием люпина и сераделлы на урожаи, а в других районах поднять производство клеверных семян. Если будут семена, этот источник азота может быть использован в громадных размерах. Другой источник азота, доступный крестьянам многих мест нечерноземной России, это — торф; введение его в подстилку обогащает навоз азотом прямо (торф содержит гораздо больше азота, чем солома) и косвенно (торф уменьшает потери азота экскрементов при их разложении в 3—4 раза, азотистые вещества торфа вовлекаются при разложении навоза в процесс брожения и дают усвояемые для растений формы).

Из этих двух направлений культура азотособирателей (например, люпина в паровом поле) имеет то преимущество перед торфом, что здесь избегают возки громоздкого материала: удобрение создается на месте. Азот и углерод связываются за счет солнечной энергии, непосредственно падающей на данную площадь, фосфор и калий люпин добывает из почвы.

Однако технические пути получения азотистых удобрений, особенно важных для интенсивных культур сахарной свеклы, хлопчатника, должны также по мере возможности реализоваться; остановимся на этих путях в порядке осуществимости.

1. Аммиак из каменного угля, в числе продуктов сухой перегонки при коксовании, получался у нас в Донецком бассейне, но вывозился за границу, так как при стоимости пуда сернокислого аммония 20 коп. за 1 кг и при дешевизне хлеба применять его в России не было расчета; кроме того, его применение было менее известно, чем применение селитры. Для рядового внесения под свеклу применение селитры проще, чем применение аммония, поэтому не с солей аммония началось применение в России азотистых удобрений. Нужно еще отметить, что связывание аммиака с помощью серной кислоты нельзя считать для всех случаев удачным: с точки зрения сельскохозяйственной гораздо удобнее было бы иметь если не азотнокислый, то фосфорнокислый аммоний или же карбамид (мочевина) [8*].

Последнее замечание, однако, не является безусловным, что доказывается уже фактом громадного применения сернокислого аммония на удобрение в Западной Европе (Германия до войны [1914—1918] применяла равные количества азота в форме аммиака и селитры).

Во время войны производство аммиачных солей у нас стало расти, но Дарданеллы были закрыты для вывоза и цены на аммоний стали падать; однако условия транспорта не позволили воспользоваться донецким аммиаком для целей сельскохозяйственных.

[8*] Азотнокислый аммоний с точки зрения агрономической гораздо выше, чем сернокислый, но он все же иногда способен давать взрыв. Синтетическая мочевина, приготовляемая теперь в Германии, представляет высокопроцентный материал (свыше 40% азота) превосходного действия и заслуживает большого внимания.

В будущем значение аммиака Донецкого района для нас может быть таким: при закрытой границе и высоких ценах на хлеб в нечерноземной полосе аммиак будет выгоднее везти на север, чем хлеб, ибо каждый пуд привезенного аммония может дать четыре пуда хлеба, аммиачные соли будут применяться в северной России еще и потому, что на юге почва менее нуждается в азоте, чем на севере.

Но у нас есть и еще один район возможного производства аммиака в будущем, это — Кузнецкий район (Алтайский округ). Помимо отдаленности от России, район этот близок к Туркестану, а Туркестан должен предъявить спрос именно на аммоний, а не на селитру. На орошенных землях селитра слишком легко вымывается из почвы водой, аммиак же связывается почвой и не вымывается, оставаясь доступным корням растения.

Если Алтайский округ будет служить поставщиком для Туркестана, то он может явиться источником аммиака не только для культуры хлопчатника, но частично для культуры пшеницы, согласно тому правилу, что азотистые удобрения продвигаются в сторону более высоких цен на хлеб.

Во всяком случае при суждении о перспективах производства кокса в Кузнецком районе нужно принять во внимание возможное значение аммиака для Семиречья и Туркестана.

2. Аммиак из торфа может быть получаем в большем количестве, чем из каменного угля, ввиду богатства торфа азотом (1—3% N). При действии перегретого пара, переводящего органическое вещество торфа в горючие газы, можно перевести бо́льшую часть азота торфа в аммиак, чем в случае каменного угля.

Приемы получения генераторного газа с введением известного количества паров воды не идут вразрез с задачей наилучшего использования теплотворной способности торфа, если не гнаться за максимумом выхода аммиака. При больших установках признается возможным улавливать весьма значительную часть аммиака без припесения в жертву главной задачи генераторных установок.

3. Органические отбросы (на бойнях, рыбных промыслах и пр.) заслуживают более полного использования, чем это делалось до сих пор. Раньше на бойнях у нас и получалось значительное количество кровяной муки, но она вывозилась за границу.

Отбросы рыбного промысла и испорченная рыба у нас не использовались до сих пор, между тем как в Норвегии существует ряд заводов для приготовления рыбного гуано. Япония тоже широко использует рыбные туки как ценное азотисто-фосфорнокислое удобрение. Мурман, Каспий и Владивосток могут стать источниками этих удобрений, следует использовать дельфинный промысел на Черном море.

Жмыхи также являются ценным азотистым удобрением или непосредвенно (клещевинный жмых), или косвенно (обогащение азотом навоза при скармливании жмыхов животным); поэтому вывоз жмыхов за границу

есть вывоз не только кормов, но и вывоз азотистых удобрений. Тем более недопустимо сжигать жмыхи вместо топлива, как это имело место в Саратове.

4. Азот привозной селитры (чилийской и норвежской) может иметь известное значение в западных частях России (а для более ценных культур — и в других районах).

5. Из синтетических азотистых продуктов наиболее легко было бы организовать производство по типу норвежской селитры, тем более что имеется печь Горбова и Миткевича, с которой проведены опыты на Сестрорецком заводе. Продукт получается очень удобный и простой в обращении, но затрата энергии слишком велика: так, на один килограмм азота расходуется киловатт-часов: при производстве норвежской селитры — 65, при цианамиде 15—16, для синтетического аммиака затрата энергии много ниже (затрачивается 1,5 киловатт-часа на единицу продукции).

Возможны, однако, случаи, когда избыток энергии иначе нельзя использовать и мыслимо устройство селитряных и цианамидных заводов: так, в Туркестане оросительные системы обещают дать такие избытки. Конечно, цианамид выгоднее селитры по затрате энергии, но продукт получается менее удобный для широкого применения. Требуется хорошее инструктирование, чтобы цианамид не принес вместо пользы вред (отравление растений при неумелом применении) [9*]. Правда, от цианамида нетрудно перейти к аммиаку при обработке водяным паром; причем все-таки в сумме продукт будет дешевле, чем норвежская селитра, но наименьшей затраты энергии требует способ Габера, в котором азот из отходящих газов генераторных печей и водород (из «водяного газа») дают аммиак при особых условиях (200 атмосфер давления, 800° температуры, присутствие определенных катализаторов).

Во всяком случае, этот наиболее совершенный способ (по экономному использованию энергии) приводит к более удобному продукту (аммиаку), чем цианамидный процесс, от которого переход к аммиаку все же требует добавочных расходов.

Таким образом, пока мы не создадим своей промышленности, не исключена возможность получать из Германии для наиболее ценных наших культур азотистые удобрения путем товарообмена. Конечно, надлежит обсудить, что можно и что не следует отдавать в обмен (но во всяком случае этот путь не может иметь общего значения при разрешении вопроса об источниках азота для нашего земледелия).

[9*] Кроме растений, цианамид вредит и людям, если им приходится дышать цианамидной пылью (например: при разгрузке вагонов, если мешки плохие, при распределении в поле, если не принять мер предосторожности).

ИСТОЧНИКИ КАЛИЯ

Как выше отмечено, калийные удобрения стоят для нас на третьем месте по значению, если иметь в виду потребности всего государства; но на некоторых почвах и для некоторых культур эти удобрения могут играть первостепенную роль. Для калия можно говорить о следующих источниках:

1. Стассфуртские соли, конечно, будут употребляться, но применение их ограничено экономическими причинами. Каинит, стоивший в Стассфурте 80 коп. за 1 ц, доходил до Москвы уже со стоимостью в 3 руб. за 1 ц. Транспорт высокопроцентных солей (30- и 40%-ная калийная соль) только отчасти помогает делу, но не дает радикального решения, поэтому Стассфурт останется более интересным для западных окраин, чем для центра и востока России. Правда, как раз наш северо-запад, благодаря природе почв (оподзоленность) и роду культур (клевер и лен), нуждается в калийных удобрениях, но они нужны по той же причине и Ярославской и Вятской губерниям; калий нужен также для картофельно-песчаных районов разных губерний и при культуре осушаемых торфяных (особенно моховых) болот, где бы они не находились.

2. Зола, которой, по довоенным расчетам, в Европейской России получалось около 16 млн. т (а из Стассфурта ввозилось 800 тыс. т солей, и то преимущественно для Прибалтики). Зола березовых дров отвечает по содержанию калия карналлиту, зола ржаной соломы превосходит каинит, а зола гречихи приближается к так называемым концентрированным калийным солям (содержит 25% K_2O). Кроме того, в стассфуртских солях содержатся примеси, бесполезные или вредные ($MgCl_2$, $NaCl$), вытесняющие из почвы известь, которой и без того мало в северных почвах, понижающие количество крахмала в картофеле и выход сахара из свеклы. Зола кроме калия содержит фосфорную кислоту (около 3%) и большие количества извести (десятки процентов), поэтому даже выщелоченная зола должна применяться в больших дозах на удобрение полей.

Местное применение золы, получаемой в хозяйстве, в нечерноземной полосе требует только популяризации, но применение золы, получаемой на фабриках при дровяном (теперь обычном) отоплении, требует известных мероприятий.

Не используется зола ржаной соломы, получаемая в районах безлесных, при отоплении соломой, но так как эти районы юго-востока большей частью еще не нуждаются в калийном удобрении, то следовало бы собирать золу для перевозки ее в ближайшие районы, нуждающиеся в ней. Если 13%-ный каинит везут на тысячи верст, то почему зола соломы, в которой содержание калия колеблется от 13 до 19%, не может перевозиться на 500—600 км? Очевидно, потому, что мы не научились ценить золу выше каинита и не умеем собирать ее в крупные партии однообразного товара.

На юге (на Кубани) существует производство поташа из золы подсолнечника. С сельскохозяйственной точки зрения было бы целесообразно эту золу вовсе не перерабатывать, а как высокопроцентный материал (25% K_2O) вывозить в районы потребления калийных удобрений, ибо при переработке напрасно пропадает фосфорнокислая известь, столь необходимая для большинства наших почв (ее содержание определяется в 11%).

Кроме золы, получаемой при сжигании стеблей подсолнечника и соломы (ржаной и гречишной), может быть принята во внимание зола морских водорослей Мурманского побережья. В случае организации иодного промысла эта зола, содержащая 30% K_2O, также способна вынести перевозку на значительные расстояния.

3. Калийные силикаты могут быть интересны как источники калия в двух случаях: 1) при переработке по типу сплавления; 2) при прямом применении размола некоторых силикатов. Для слюдяных сланцев, нефелиновых пород, наши вегетационные опыты показали в ряде случаев высокую усвояемость калия растениями; но полевые шпаты в этом отношении безнадежны. Калийные соли в маточных жидкостях (Сиваш, соляные источники на Урале) пока не представляют [собой] выгодного источника калия для сельского хозяйства. Весьма желательны дальнейшие исследования и особенно глубокое бурение там, где не исключается возможность, по заключениям геологов, наткнуться на отложения калийных солей.

Подводя итоги вышеизложенному, мы можем сказать, что наибольшую помощь сельскому хозяйству государство может оказать в настоящее время следующими мероприятиями в области снабжения удобрениями: организацией в избранных районах хорошо оборудованных фосфоритных рудников большой продуктивности для обслуживания суперфосфатных заводов и увеличением числа таких заводов; созданием сети многочисленных, более мелких рудников для добычи фосфоритов, предназначаемых для простого размола; снабжением населения семенами азотособирателей; утилизацией золы.

Эти задачи должны быть признаны первоочередными, все остальное должно осуществляться постольку, поскольку это не будет отнимать сил и средств от скорейшего достижения ближайших целей.

Но в каком же масштабе нужно действовать?

Попробуем подойти к весьма грубому, конечно, итогу. Допустим, что мы пока не будем применять концентрированных азотистых удобрений, заменив их широко введенной культурой азотособирателей (люпин и др.) и применением торфа, что не будем также применять калийных солей, добившись использования золы; предположим, что государство должно дать земледелию только фосфаты. Если вносить фосфорнокислые удобрения один раз в шесть лет, в среднем по 3 ц на га, тогда при пахотной

площади[10*] в 70 млн. га нам потребуется 4 млн. т в год различных фосфатов.

Конечно, говорить об ежегодном производстве в 4 млн. т фосфатов (хотя бы даже просто фосфоритной муки) в ближайшие годы нельзя; эта цифра является только некоторым маяком, на который должна держать путь наша фосфатная промышленность.

ДОПОЛНЕНИЕ

Настоящая статья написана весной 1920 г., поэтому площадь пахотных земель в РСФСР не могла быть в ней учтена с должной точностью. По данным ЦСУ, площадь эта оказалась большей, чем предположено ранее нами.

При этой цифре (107 млн. га) расчет при удобрении одной шестой части пахотной площади фосфатами дает итог в 5,1 млн. т фосфатов ежегодно, вместо 4,0 млн. т.

Можно подойти к расчету с другой стороны и, сделав допущение, что навозное удобрение применяется в полной мере, поставить задачей только возвращение той недодачи фосфата, которая происходит в течение ряда столетий вследствие отчуждения зерна из хозяйства (для простоты не будем считаться с убылью скота, с фактами невывозки даже имеющегося навоза и пр.). Так как с зерном ржи уносится при наших урожаях около 8 кг фосфорной кислоты с гектара, то при ржаном посеве в 35 млн. га будет отчуждено около 280 тыс. т фосфорной кислоты; относительно овса сделаем предположение, что он весь съедается на месте и весь фосфор овсяного зерна попадает в навоз (чего на деле не достигается). Далее допустим, что другие пищевые и технические растения уносят не больше фосфора, чем рожь (на деле они уносят больше), тогда окажется, что все яровые, за исключением овса, уносят в сумме из хозяйства столько же фосфора, сколько рожь, т. е. 280 тыс. т. Всего, следовательно, увозится с полей без возвращения в навоз 560 тыс. т фосфорной кислоты, что отвечает 3,2 млн. т суперфосфата ежегодно (а если заменить часть его фосфоритом, то и в большем количестве). Таким образом, мы приходим к цифре того же порядка, как по предыдущему расчету.

Подсчеты эти очень приблизительны, но делать их очень точно не имеет смысла, ибо фактически применение будет зависеть от другого — от того, в каком отношении будет находиться стоимость суперфосфата к

[10*] Мы имеем здесь в виду не только площадь посевов, но всю пахотную площадь, включающую паровые поля, так как именно паровое поле и занимает первое место в числе клиньев севооборота, подлежащих удобрению. Отметим, что настоящая статья написана весной 1920 г. (доклад для ГОЭЛРО), потому в ней не приняты во внимание последствия неурожая прошлого лета, безнавозье 1921 г., но так как мы имеем в виду планомерные мероприятия, рассчитанные на общее поднятие земледелия, то на особенностях 1920—1921 гг. останавливаться в отдельности не будем, так как эти особенности только подчеркивают неотложность указываемых мер.

стоимости хлеба; чем дешевле даны будут населению фосфаты, тем шире будет их применение. Можно думать, что, например, фосфорит (типа костромского или вятского) в хорошо размолотом состоянии на тех почвах, где фосфорит действует, может найти применение, если он будет дан населению по цене, не превышающей стоимости $^1/_4$—$^1/_3$ ц хлеба за 1 ц фосфорита (сещинский, орловский, курский фосфориты должны быть соответственно дешевле). Эти цифры нам кажутся верхним пределом; если техника добывания и размола позволит удешевить фосфаты, применение их будет еще более обеспечено.

Для наилучшего разрешения этого вопроса нужны подсчеты со стороны горнотехнической; с другой же стороны, агрономической, желательна детальная, местная работа по выяснению возможности (или невозможности) замены суперфосфата более дешевым фосфоритом для тех или иных почвенных разностей. Дело в том, что здесь обнаруживается более пестрый рисунок, чем полагали раньше. С одной стороны, граница применения фосфорита продвинулась к югу и из области подзолов перешла в область чернозема; на юге Тульской губернии Шатиловская станция получила приросты урожаев в 6 ц ржи при внесении 6 ц костромского фосфорита; подобные результаты получились на Елецком опытном поле, но почва Орловского опытного поля вела себя иначе — там требовался более растворимый фосфат. Таким образом, необходимо испытание фосфоритов при более густой сети опытов, чем это делалось до сих пор. По подсчетам А. Н. Лебедянцева, директора Шатиловской станции, даже если действие фосфорита не пойдет к югу далее выщелоченных черноземов, то район этот будет измеряться площадью в 22—25 млн. га. Если удобрение фосфоритом будет применяться ежегодно на $^1/_{10}$ части этой площади, то потребуется в год около 1,6 млн. т костромского фосфорита (или двойное количество сещинского). Кроме этого района фосфорит пойдет на оподзоленные и заболоченные почвы нечерноземной полосы (границы промежуточной зоны и южная граница его применения в пределах чернозема требуют выяснения, так же как и детальный рисунок внутри каждой области).

Шатиловская станция применяла фосфорит в тройном количестве против суперфосфата, считая по фосфорной кислоте; возможно, что при более тонком размоле удастся обойтись двойным количеством.

К ВОПРОСУ О ХИМИФИКАЦИИ НАШЕГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ [29]

СХЕМА ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПЛОЩАДИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ СССР *

(Материалы к созданию перспективного плана с приложением картограммы)

Как нам приходилось уже отмечать **, название страны «земледельческой» приложимо к СССР только в весьма условном значении, ибо не только по проценту пашни и по высоте урожаев она много уступает так называемым промышленным странам, но даже по количеству хлеба, собираемого на душу населения, она мало отличается, например, от «промышленной» Германии, резко отличаясь вместе с последней в этом отношении от Соединенных Штатов, Аргентины и Канады. И если в каком-либо смысле приведенное избитое выражение является верным, то только в том, что по составу населения мы являемся наиболее земледельческой, наиболее крестьянской страной, но с низкой техникой земледелия, с малым развитием городской и промышленной жизни: если еще до войны у нас считалось 87% сельского и только 13% городского населения, то теперь [1914—1918 гг.] смело можно считать, что у нас свыше 90% приходится на сельское население и менее 10% на городское, тогда как, например, в Англии мы имеем обратную картину. Но в то же время площадь даже европейской части республики распахана вдвое меньше, чем площадь Франции или Германии, и даже эта распахиваемая площадь слишком велика для того сбора хлебов, какой теперь имеет место: это же самое количество можно собрать при запашке вдвое меньше или с этой же площади можно получить урожай вдвое больший при культуре более разумной, в особенности же при условии согласования заданий нашей промышленности с нуждами земледелия. У нас много говорят об «индустриализации земледелия», но недостаточно еще обратили внимания на «аграризацию самой индустрии» или, если угодно, «осельскохозяйствлении промышленности», в особенности химических ее отраслей.

Именно в отсталой технике лежит причина того, что наши урожаи вдвое ниже французских, втрое ниже германских, вчетверо ниже датских; напомним довоенные данные для средних урожаев пшеницы и картофеля в разных странах [в ц/га, см. таблицу на стр. 445 и рис. 1].

Что это различие между уровнем наших и западноевропейских урожаев не может быть отнесено в главной своей части за счет разницы в естественноисторических условиях, об этом говорит уже простая истори-

---

* Доложено в сельскохозяйственной секции Госплана и в Научном институте по удобрениям в 1924 г. Печатается с сокращениями по тексту, опубликованному в Юбилейном сборнике «Статьи и научные работы Д. Н. Прянишникова», т. 1, 1927, стр. 409–439.

** См. брошюру «Наши урожаи и минеральные удобрения», 1920.

Страна	Средний урожай пшеницы (1908—1912 гг.)	Урожай картофеля (1913 г.)	Страна	Средний урожай пшеницы (1908—1912 гг.)	Урожай картофеля (1913 г.)
Дания	29	–	Германия	21	159
Бельгия	25	200	Австрия	13	90
Голландия	24	176	Франция	13	85
Англия	22	162	Россия	7	73

ческая справка, показывающая, что 150 лет тому назад вся Западная Европа имела такие же низкие урожаи, какие теперь имеем мы, но, например, Германия со времен Фридриха Великого сумела утроить свои урожаи; вот цифры для пшеницы (в ц/га): в 1770—1780 гг. урожай составлял 6,7—7,5, в 1885—1890 гг.— 13,5, в 1900—1905 гг.— 17,1, в 1905—1910 гг. – 18,0, в 1910—1914 гг.—21,0.

При этом годичное поднятие за 25 лет перед войной вчетверо превышало среднее годичное поднятие за столетие 1780—1880 гг. [рис. 2] [3*].

Подобный же рост урожаев, особенно в конце XIX столетия, мы наблюдаем в других государствах Западной Европы; приведем еще данные хотя бы для Голландии [в ц; см. также рис. 3].

	1851—1861 гг.	1891—1900 гг.	1905—1910 гг.
Пшенциа	16,5	21,5	27,8
Овес	15,9	20,8	24,6
Ячмень	21,5	26,2	30,4
Картофель	98,0	148,0	173,0

Нам только теперь предстоит изменить направление кривой урожайности, обнаружившей тенденцию к понижению, и превратить ее в кривую восходящую.

Сделать это заставляет нас не внешнее соревнование с соседями, а внутренняя неизбежность: нужно поднять оплату крестьянского труда, создать резервы на случай засухи на юго-востоке, создать избытки хле-

[3*] Во Франции имеется, так же как и в Германии, удвоение урожаев за столетие 1790—1890 гг. (в ц/га):

1770—1780 гг.	1825 г.	1860 г.	1890—1900 гг.
6,7	8,2	9,7	13,5

Но дальше, в отличие от Германии, во Франции подъем урожаев зерновых хлебов задержался вследствие кризиса рабочих рук в земледелии и стремлении к переходу от зернового хозяйства к садовым культурам, с одной стороны, и к пастбищному хозяйству – с другой. Теперь послевоенный кризис заставляет Францию учиться у Германии, как повысить урожаи хлебов без увеличения трудоемкости.

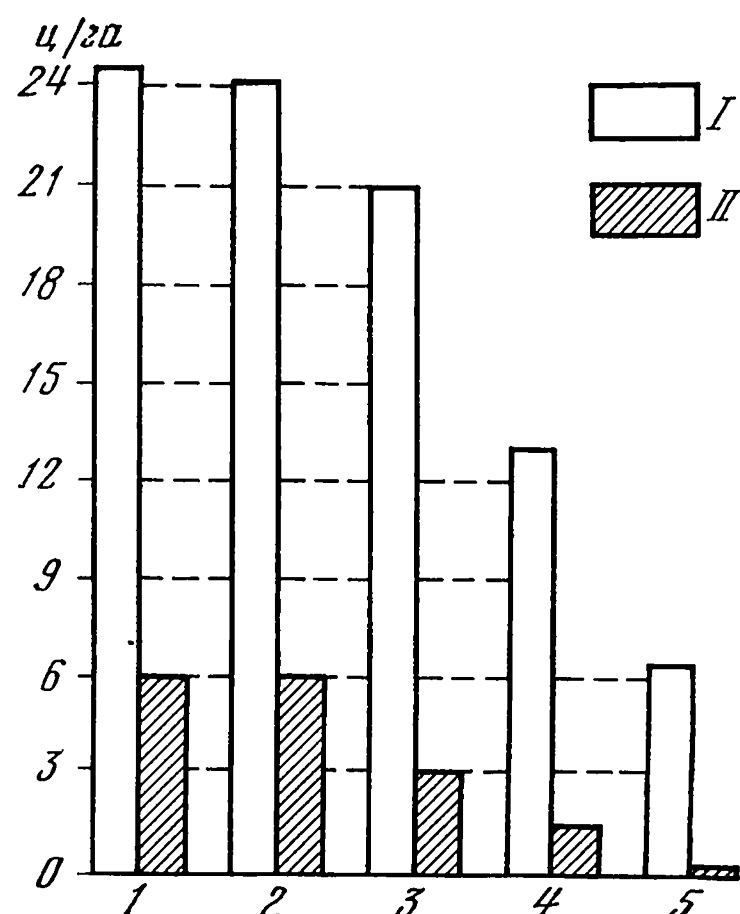


Рис. 1. Величина урожая и количество минеральных удобрений (в ц/га) в разных странах

1 — Бельгия; *2* — Голландия; *3* — Германия; *4* — Франция; *5* — Россия; *I* — урожай; *II* — удобрение

ба для экспорта. В наших перенаселенных земледельческим населением черноземных губерниях, как Курская, Полтавская, Киевская, Подольская, на малых наделах при экстенсивной культуре не используются сполна ни силы человека, ни силы лошади; отсюда возрастание безлошадности, не случайной, а так сказать, «принципиальной». Выход из этого положения лежит в поднятии урожайности, введении промышленных культур, способных поглотить (и оплатить) большее количество труда человека и лошади на единицу площади. Нередко ссылаются на пример Америки, ведущей экстенсивное хозяйство и имеющей более низкий уровень урожаев, чем Западная Европа; однако этот пример для нас неубедителен по трем причинам.

1. Америка не знает того загущения сельского населения, той перенаселенности, до которой дошли мы во многих районах, американский фермер сравнительно с нашим крестьянином является столь крупным собственником, что не только работа нескольких лошадей, но применение машин может окупаться в пределах одного хозяйства. Кроме того, даже внешнее уподобление нашего земледелия американскому неправильно, ибо Соединенные Штаты имеют урожаи все же на 50% выше наших, и они давно перешли к установлению смычки химической промышленности с земледелием; еще в 1911 г. они применяли 6,6 млн. т минеральных удобрений и довели свое производство суперфосфата перед войной до 3,3 млн. т (мы же в 1911 г. применяли в 10 раз меньше минеральных удобрений — 660, а теперь не имеем и сотой доли того, чем Америка располагала в 1911 г.).

2. Различие между нами и Америкой становится особенно ясным, если мы отнесем хлебную продукцию *не к единице площади, а к числу едоков в стране*. Этот способ сопоставления важно иметь в виду при вопросе об экспорте, а экспорт для нас важнее, чем для Америки, ибо

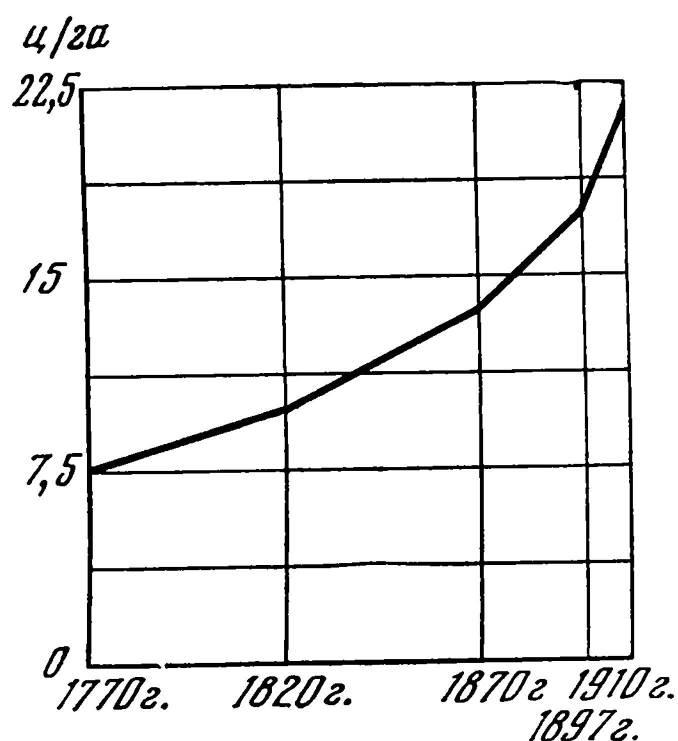


Рис. 2. Поднятие урожаев в Германии в период 1770—1910 гг. (в ц/га)

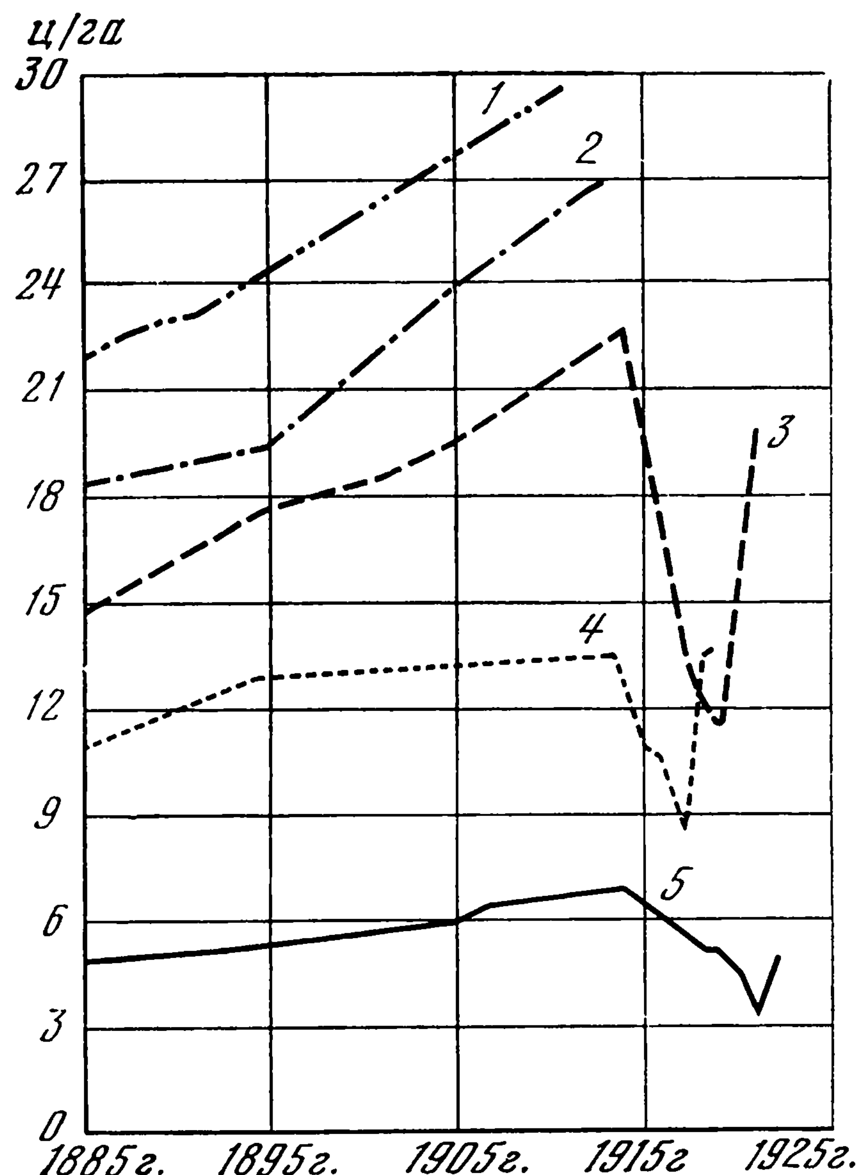


Рис. 3. Изменение высоты урожаев в разных странах с 1885 по 1925 г. (в ц/га)

1 — Дания; 2—5 — то же, что на рис. 1

состояние нашей промышленности, в отличие от американской, не таково, чтобы оно могло удовлетворить все потребности страны дешевле, чем иностранная промышленность; *наш хлебный экспорт был до сих пор функцией нашей промышленной отсталости, а не земледельческого прогресса*.

Довоенные соотношения можно демонстрировать следующими немногими цифрами: если взять производство зерна в 1913 г., не отделяя пищевого зерна от кормового, то [увидим, что] на каждую душу населения было произведено следующее количество:

	В Германии	В России	В Соединенных Штатах	В Аргентине	В Канаде
	в ц				
Всякого рода зерно	2,8	3,4	7,8	11,0	11,6
То же, плюс картофель (в пересчете на зерно)	4,4	3,9	8,0	11,2	12,0

Цифры показывают, что Россия в 1913 г. производила вдвое меньше зерна, чем Соединенные Штаты, и в 3—3$^{1}/_{2}$ раза меньше, чем Аргентина и Канада; отличаясь резко от этих настоящих экспортеров, она приближалась по производству зерна к импортеру — Германии; а если

принять во внимание не только хлеба, но и картофель (пересчитывая на хлеб путем деления урожая картофеля на 4), то перевес для 1913 г. окажется на стороне Германии: 4,4 ц зерновых эквивалентов на каждого едока против 3,9 в России.

Вопрос: почему же Германия вывозила хлеб из России, а не наоборот?

Потому, что Германия желала иметь не только хлеб, но и ветчину, а для получения одного центнера свинины нужно скормить около 4 или 5 ц зерна (или по крайней мере иметь возможность давать часть этого количества в зерне, если другая часть заменяется четверным количеством картофеля); поэтому для производства вестфальских и иных окороков недостаточно было немецкого картофеля, но требовалось привлечение русского зерна и русских жмыхов. В то же время наш крестьянин вегетарианствовал и тем делал вывоз возможным. *Новая же Россия должна избегнуть противоречия между улучшением питания населения и экспортом,* должна оздоровить экспорт, а для этого нужно поднять продукцию, *создать действительные избытки хлеба.*

3. Третий важный пункт нашего отличия от Америки заключается в том, что мы слишком крупную часть нашей хлебной продукции базируем на *области «сверхсухого» земледелия*; мы зашли слишком далеко в область полупустыни с чисто зерновым хозяйством в погоне за дешевой безнавозной культурой; отсюда неустойчивость урожаев и азартный характер земледелия на юго-востоке. Невозможно допускать, чтобы продовольствие страны зависело от капризов погоды в области, где, кроме обычных засух, с которыми можно бороться культурными мерами, периодически повторяются засухи в размерах непреодолимых. Необходимо обеспечить продовольственный минимум для страны поднятием урожаев в области достаточного увлажнения, в которую у нас войдет значительная часть того, что американцы называют уже областью сухого земледелия, а в этой области поднятие урожаев возможно только при применении удобрения (в отличие от степного юго-востока, где удобрение еще не нужно). Вопроса о координировании мероприятий по центру и юго-востоку мы касались подробнее в другом месте [4*].

Итак, по сумме причин *другого выхода, кроме поднятия культуры, для нас нет.*

Пути массового поднятия урожаев, конечно, в общем будут те же самые у нас, каковыми были в Западной Европе, с одним, однако, различием в исторической последовательности: *мы освобождаемся от постепенного прохождения тех стадий, на которых долго задерживалось западноевропейское хозяйство в XVIII и XIX веках вследствие неразработанности в то время естественнонаучных основ земледелия,* в особенности химии,

---

[4*] «Пути к ослаблению зависимости нашего земледелия от колебаний климата на юго-востоке» (Сельскохозяйственная жизнь, 1913) и «О согласовании мероприятий по поднятию земледелия в центре и на юго-востоке».

физиологии и генетики в их приложении к земледелию; задержка этого рода не стояла в органической связи с экономикой земледелия, а зависела от того, что тогда приходилось эмпирически, работая ощупью, в течение долгих десятилетий отыскивать те пути к улучшению земледельческой техники, которые теперь так ясно вытекают из общенаучных оснований; и если теперь требуется местный опыт, то не для отыскивания ощупью новых путей, а для количественного учета роли отдельных факторов из числа ранее зарегистрированных на фоне тех или иных конкретных условий.

Западная Европа использовала для поднятия урожаев на современную высоту следующие приемы: 1) на грани XVIII и XIX столетий клеверосеяние и вытеснение пара пропашным клином; 2) на грани XIX и XX столетий — массовое применение минеральных удобрений и введение селекционных сортов. Хотя в первый из этих периодов и не умели объяснить физиологически причин хорошего роста клевера на полях, переставших давать хороший урожай, и еще меньше умели объяснить, почему пышный рост клевера не истощает, а обогащает почву, тем не менее ощупью нашли практически верный выход в правиле — больше корма, больше скота, больше навоза — выше урожаи.

В то время объявляли войну незанятым парам, которые Шубарт (конец XVIII века) назвал «чумой» сельского хозяйства, и стали развивать посевы клевера, картофеля и кормовых корнеплодов за счет паровой площади, вызывая тем самым повышение урожаев хлебов благодаря улучшенной обработке почвы под корнеплоды, увеличение количества навоза в хозяйстве и азота в почве благодаря клеверу. Сказанное не следует понимать так, что картофель и корнеплоды помещались непременно в пару; в последнем мог оказаться клевер или вика, а пропашные — идти за озимыми, но в итоге площадь под паром сокращалась, а под пропашными и клевером — возрастала.

Общие итоги влияния этих двух приемов за 100 лет для Германии можно формулировать так: посевная площадь возросла за счет пара на 50% [5*], урожаи хлебов за то же время удвоились, поднявшись от 7 ц в конце XVIII века до 14 ц в конце XIX века.

Теоретически еще в 40-х годах Либих положил начало правильному пониманию значения почвы и удобрения в деле питания растений, указал на возможность борьбы с падением урожаев при истощении почв; но только постепенно его учение вызвало к жизни опытные станции. Только к 90-м годам прошлого столетия агрономическая химия могла установить с должной ясностью главные этапы круговорота: почва — растение — атмосфера, и уяснить роль удобрения как рычага не для удержания урожаев только на прежней высоте, о чем думал Либих, а для поднятия их до высоты, неизвестной ранее. За этим наступило развитие хи-

[5*] К 1922 г. площадь под паром составляла в Германии лишь 20% площади пахотных земель.

мической промышленности и создались целые ее отрасли, целиком работающие на нужды земледелия; поднятие урожаев с 90-х годов благодаря применению минеральных удобрений в широких размерах пошло гораздо более быстрым темпом, чем в период 1780—1880 гг., когда действовало только введение клевера и корнеплодов.

Какие успехи сделало распространение минеральных удобрений в Германии, особенно в предвоенные годы, по сравнению с 80-ми годами, видно из следующих данных и рис. 4.

	1905 г.	1909 г.	1913 г.
Потреблено минеральных удобрений			
в млн. т	0,4	5,1	9,5
в кг/га	12	150	290

Еще раньше две западные соседки Германии — Бельгия и Голландия, превосходящие ее по интенсивности своего хозяйства, ушли вперед в деле использования минеральных удобрений: против 3 ц/га в Германии там дошли до внесения 4—5 ц удобрения в среднем для целой страны на каждый гектар пашни ежегодно: средний урожай в этих странах превосходит 25 ц/га.

Так обстоит дело к западу от Германии, но восточная соседка Германии — «земледельческая» Россия проявляет замечательное воздержание от применения минеральных удобрений: до войны потребление их составляло в среднем 6 кг/га пашни для Европейской России, причем значительная доля этого потребления приходилась на Польшу и Прибалтийский край, куда удобрения ввозились из-за границы. В современных же границах, при отсутствии ввоза, наше потребление минеральных удобрений вряд ли составляет 0,4 кг/га.

В чем причина этого явления?

Ходячие объяснения неприменения удобрений нередко поражают своей неверностью: такова ссылка на «некультурность нашего крестьянства», приведшая, например, Центротук в 1919 г. к планам принудительного удобрения крестьянских полей суперфосфатом; такова же ссылка на некультурность наших полей, на то, что Западная Европа только через 100 лет после клевера и корнеплодов ввела минеральные удобрения и что нам предстоит будто бы пройти через такую же последовательность! Эта *псевдоисторическая мотивировка* часто производит впечатление на новичков, но ясно, что *нет никакого смысла, например, пермскому крестьянину ждать 100 лет и терпеть ущерб от недостатка навоза, вместо того чтобы теперь же применить суперфосфат под клевер*, если Пермская опытная станция показала, что при этом получаются приросты урожая 40 ц клеверного сена и 4,5 ц зерна следующего хлеба; нужно только, чтобы суперфосфат был дан по подходящей цене (что в Перми вполне возможно).

В других случаях еще предстоит более крупная перестройка промышленности, но именно здесь, в области цен на суперфосфат, лежит разгадка столь распространенного у нас воздержания от применения суперфосфата; к вопросу о путях устранения этого препятствия мы еще вернемся, а пока укажем на те новые достижения наших опытных учреждений, которые заставляют теперь в значительной степени переместить центр внимания в сторону *организации удобрения как минимального фактора в крестьянском хозяйстве всех областей Европейской России*, кроме степной ее части.

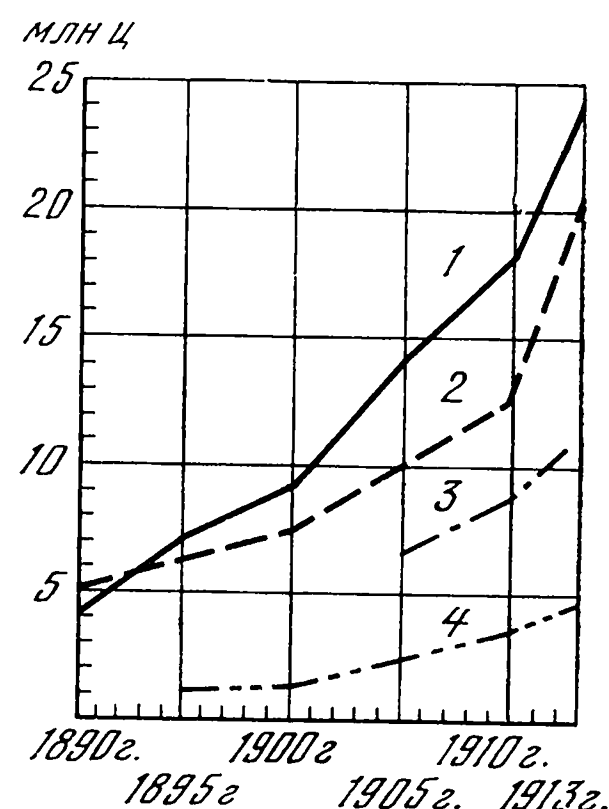


Рис. 4. Рост потребления минеральных удобрений в Германии (в миллионах центнеров)

1 — томасов шлак; 2 — суперфосфат; 3 — селитра; 4 — сернокислый аммиак

Данные опытных учреждений за последнее десятилетие обнаруживают решительный поворот от старого правила, сложившегося в черноземной полосе и гласящего, что для чернозема «обработка важнее, чем удобрение». Основанные в 80-х и 90-х годах прошлого столетия опытные станции первоначально отдали в своих программах почти все внимание вопросам обработки, и это было для того времени справедливо, ибо тогда применение навоза еще не проникло достаточно в глубь черноземной полосы, по крайней мере в крестьянском хозяйстве. Но эти времена прошли, и если не говорить о степном юге и юго-востоке, то чернозем потребовал удобрения. Наиболее рельефное выражение этой смены мы находим в отчете Харьковской опытной станции (1929), где, между прочим, ставился вопрос: что важнее на черноземе для озимей — ранняя пахота или удобрение? И на основании пятилетних опытов делается определенное заключение: *для харьковского чернозема внесение удобрения под озими гораздо важнее, чем ранний взмет пара* (рис. 5). При этом перевес на стороне удобрения выражен такими цифрами (в ц/га):

	Урожаи ржи (пятилетние средние)		Урожаи ржи (пятилетние средние)
По позднему пару без удобрения	15,5	Ранний пар без удобрения	19,0
То же, при удобрении	23,7	То же, при удобрении	27,5

Такая переоценка ценностей является весьма знаменательной и важной, особенно в том отношении, что по экономическим причинам ранние пары в центральной черноземной полосе должны уступить место занятым парам с поздней вспашкой, а роль удобрений при занятых парах еще более возрастает.

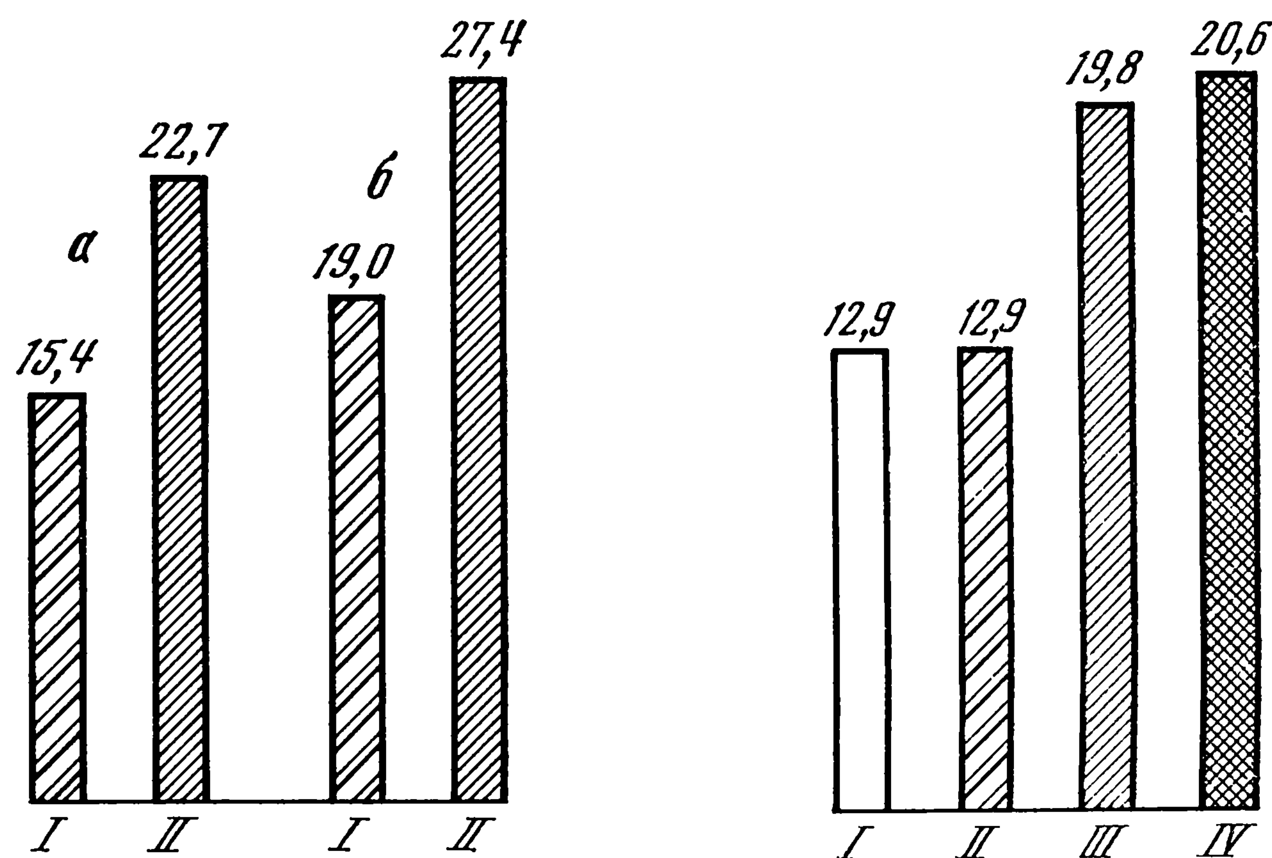


Рис. 5. Урожай в зависимости от удобрения (*II*) на позднем пару (*а*) и без удобрения (*I*) на раннем пару (*б*) (Харьковская опытная станция)

Рис. 6. Действие удобрений на харьковском черноземе (средние данные за 10 лет)
I — без удобрения; *II* — селитра; *III* — суперфосфат; *IV* — навоз

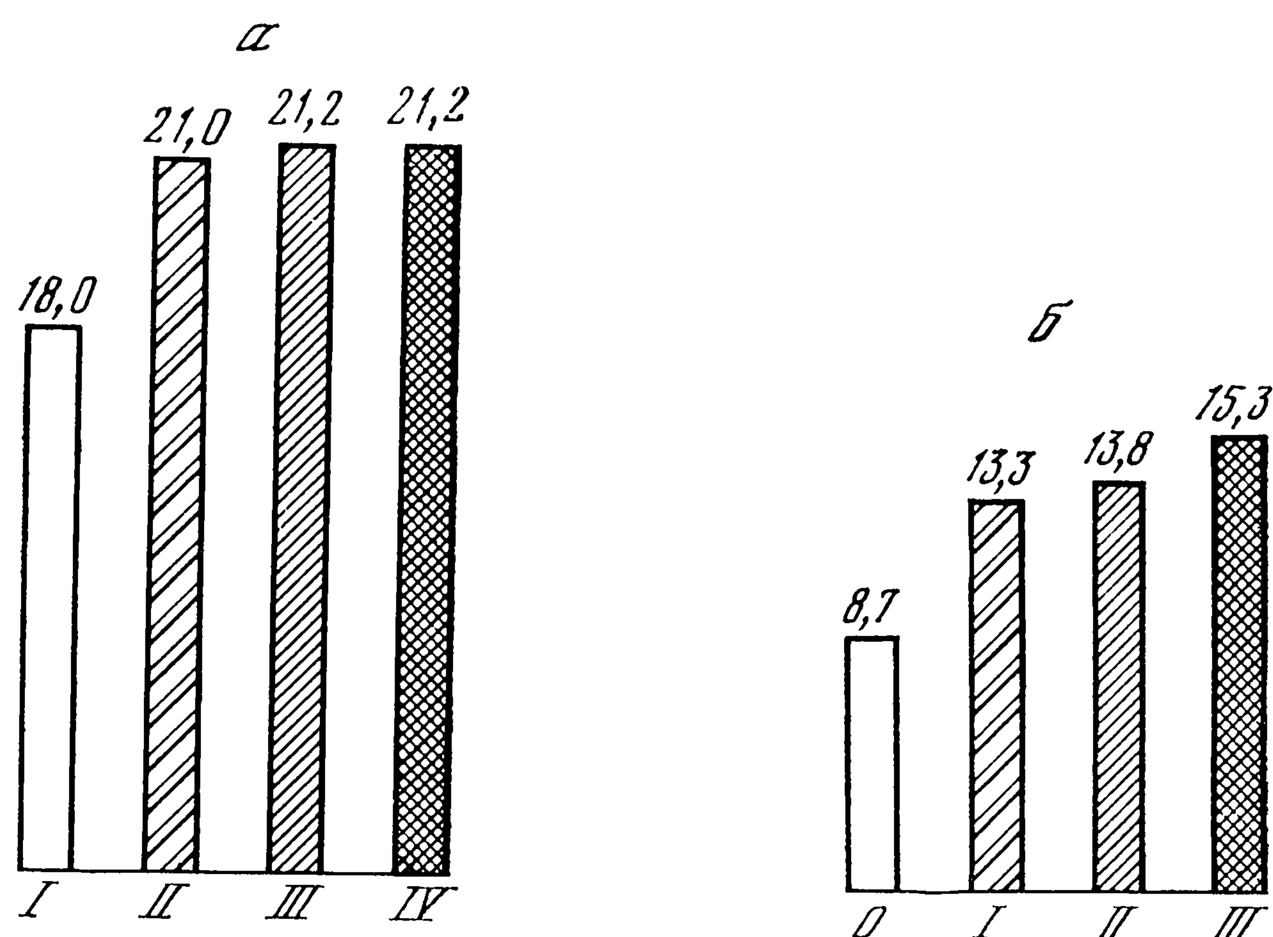


Рис. 7. Действие удобрений на тульском черноземе (Шатиловская станция) (*а*) и на пустошной земле Смоленской губернии (Батищево) (*б*)

а: *I* — без удобрения; *II* — суперфосфат; *III* — фосфорит; *IV* — навоз; *б*: *0* — без удобрения; *I* — шлак; *II* — фосфорит; *III* — навоз

Но какому элементу принадлежит главная роль в удобрении? Чего наиболее недостает нашим почвам? По этому вопросу слагается следующий общий, очень важный вывод: если исключить Поволжье и крайний степной юг, где культура сравнительно молода, где даже не дошли еще до регулярного применения навоза на удобрение, то почвы всей остальной площади европейской части России, при весьма различном отношении к азоту, проявляют прежде всего общую нужду в фосфоре; и чернозем в районах старой культуры не только не представляет исключения из этого правила, но нередко в наиболее рельефной форме его подтверждает.

Возьмем, например, отчет Харьковской опытной станции (1922), подводящий краткие итоги за ряд лет и содержащий массу диаграмм по разнообразным вопросам культуры. Диаграммы, касающиеся удобрений, говорят нам, что на харьковском черноземе почти все действие навоза сводится к фосфору, в нем заключающемуся; действие остальных элементов слабое или нулевое; *в этих условиях недостаток навоза с успехом может быть возмещен суперфосфатом*; возьмем только три цифры, из которых это видно.

	Без удобрения	Суперфосфат	Навоз
Урожаи ржи (пятилетние средние, в ц/га)	13,0	21,5	23,0

При этом 3 ц суперфосфата заменяют около ста возов навоза — какая экономия на возке! Пользуясь суперфосфатом для дальних полей, можно навоз, всегда находящийся в минимуме, сосредоточить на ближних полях и таким образом повысить урожай на всей площади, не повышая, а понижая сумму труда, затрачиваемого на удобрение полей.

Мы здесь имеем исключительные условия, могущие поставить наш чернозем в дальнейшем в выгодное положение перед Западной Европой, так как там приходится вносить в почву не только фосфор, но и азот и калий (азот является самым дорогим элементом в удобрениях); мы же имеем в черноземе большие запасы азота, пока хватает и калия; *нужно добавить только один элемент — фосфор, чтобы оживить чернозем,* истощенный многовековой культурой без удобрения [30].

Харьковские данные не стоят особняком: в Полтавском районе на типичных черноземах суперфосфат дает приросты в 4—6 ц, даже в Екатеринославской губернии фосфаты повышают урожаи хлебов, а из прежних работ сети опытных учреждений по Киевской и смежным губерниям давно известно, что свеклосахарная культура требует суперфосфата. Последние работы Носовской станции (Черниговская губерния) показали, что суперфосфат по клеверищу дает приросты ржи в 6 ц. В Тульской губернии (по данным Шатиловской станции) фосфаты дают такую же прибавку, как навоз, причем в данном районе возможна замена суперфосфата фосфоритом; вывод этот распространяется на соответственные

виды черноземных почв Орловской и Рязанской губерний (вероятно еще распространение этого вывода в пределах северного чернозема); показание положительного действия суперфосфата на черноземе востока дает Чишминская опытная станция, Уфимская губерния (см. рис. 6, 7, *а, б*).

Для нечерноземной полосы (почвы которой, кроме фосфора, одновременно нуждаются и в азоте) новые данные Энгельгардтовской опытной станции принесли прекрасное подтверждение прежних наблюдений А. Н. Энгельгардта: фосфаты способны на смоленских подзолах давать приросты ржи в 6 ц на пустошных землях и в 4 ц на старопахотных землях по клеверным парам. На восточной окраине Пермская опытная организация на средних цифрах из большого (226) числа опытов подтвердила выводы В. Н. Варгина относительно благоприятного действия суперфосфата на рожь и клевер в Предуралье: так, оказалось, что рожь дает даже по бесклеверному пару 4,6 ц прироста от суперфосфата (средняя для 130 случаев), а клевер дает за 2 года 40 ц лишнего сена (но наилучше удаются хлеба по клеверу, удобренному суперфосфатом). Интересен еще следующий вывод для Предуралья: *если взять половинную норму навоза и половинное количество суперфосфата, то урожай хлебов получается несколько выше, чем при полной дозе навоза; урожай же клевера при этом значительно увеличивается*; таким образом, введение суперфосфата позволяет с выгодой *удвоить* площадь пара, которую можно удобрить при ограниченном количестве навоза, и тем преодолеть «навозный голод».

Упомянем еще, что и на Крайнем Севере, на Архангельском опытном поле, суперфосфат дает крупные приросты трав на осушенном болоте, причем получаются урожаи такого порядка: без удобрения — 10 ц сена, по суперфосфату — 40 ц; действие суперфосфата продолжается несколько лет.

Итак, *действие фосфатов на наших почвах не отличается от их действия на почвах Западной Европы*. Представляет ли этот общий результат для нас непосредственный интерес?

На этот вопрос не может быть двух ответов. Наше хозяйство находится теперь в заколдованном кругу; «мало кормов — мало скота, мало навоза — плохие урожаи»; звенья этой цепи взаимно удерживают друг друга на низком уровне: нельзя увеличить количество скота из-за недостатка кормов, нельзя улучшить удобрение полей из-за недостатка скота и т. д. Чтобы разомкнуть этот круг, нужно в него вбить новый клин, и роль этого клина лучше всего могут сыграть минеральные удобрения, а именно фосфаты при применении их на должном азотном фоне (азот чернозема, азот торфяного компоста, азот клевера, люцерны и люпина).

Вопреки прежнему представлению, по которому минеральные удобрения являются уделом крупного хозяйства, а не крестьянского, мы утверждаем, что *именно для крестьянского хозяйства они представляют насущную потребность,* ибо крестьянское хозяйство не может подражать, например, ферме [Петровской академии], и, оставляя под рожью $^1/_8$ пахотной площади, отвести $^6/_8$ под клевер, пропашные и овес, чтобы

последнюю $^1/_8$ обильно удобрять навозом, не может следовать примеру опытного поля, удобряющего при опытах в трехполье весь паровой клин полной нормой навоза.

Пример фермы и опытного поля высокопоучителен для крестьянина в том отношении, что ими доказана возможность утроения урожаев в нашем климате и на наших почвах, но пути к удвоению и утроению урожаев в крестьянском хозяйстве будут иные, чем в упомянутых опытах с трехпольем или восьмипольем. Поэтому наши опытники не имеют права игнорировать навозный голод крестьянского хозяйства, говоря, что «вопрос о количестве навоза — это вопрос организационный», ибо на деле здесь имеется *организационный тупик*, пока не прибегнут к новым путям в деле организации удобрения.

Как раз введение минеральных удобрений резко отличается от других мер поднятия хозяйственного уровня возможностью быстрого проведения их в жизнь независимо от остальных звеньев «мертвой петли»: они применимы при всяком севообороте, для их внесения не нужно ждать согласия соседей, они позволяют поднять урожай, независимо от состояния скотоводства; мало того, увеличивая количество кормов в хозяйстве, минеральные удобрения помогут ускорить и поднятие животноводства, словом, они могут сыграть роль того первого толчка, который сдвинет с мертвой точки крестьянское хозяйство, поможет прийти в движение ряду зубчатых колес, образующих стройный хозяйственный механизм.

Устраним еще одно ходячее недоразумение — опасение «как бы от применения минеральных удобрений не ухудшились физические свойства почвы». Эта мысль является у людей, которые думают, что введение минеральных удобрений уменьшит количество органического вещества, вносимого в почву, между тем как на деле оно увеличивает это количество. Ведь никто, кроме людей, ничего не понимающих в земледелии, не подумает, что минеральными удобрениями станут заменять имеющийся в хозяйстве навоз — они предлагаются *для замены недостающего навоза,* но от их применения только увеличится количество наличного навоза, ибо будет больше клевера, больше соломы, а кроме того, будет больше корневых остатков в почве; поэтому, например, от внесения фосфатов физические свойства почвы в итоге только улучшатся. Ведь никто, кроме агрономически наивных людей (а такие встречаются), не скажет, что навоз — это рутина, его следует исключить из крестьянского обихода при введении минеральных удобрений как ненужный пережиток старины... Всюду в Западной Европе введение минеральных удобрений шло рука об руку с усиленным применением навоза, и в Германии считается правилом вносить навоз не только под озимь, но и под картофель, независимо от внесения крупных доз минеральных удобрений, ибо навоз представляет крупную ценность по количеству содержащихся в нем азота, фосфора и калия, а для малокультурных почв имеет значение еще и внесение органического вещества и бактерий, содержащихся в навозе. И вот это благотворное действие навоза можно распространить на двойную пло-

щадь с помощью добавления суперфосфата, как ясно показали пермские опыты, опыты киевской сети и ряда других опытных учреждений [31].

Но можем ли мы дать сейчас крестьянству дешевые фосфаты?

Во второй половине настоящей статьи мы остановимся ближе на тех возможных решениях этого вопроса, которые отвечают как природным особенностям отдельных районов, так и условиям их снабжения соответственными видами фосфатов.

Вопрос о снабжении нашего земледелия дешевыми фосфатами должен быть подразделен на две части: 1) удешевление фосфатов наиболее универсального действия, каковыми являются суперфосфат и томасов шлак; главным образом на них строят снабжение фосфатами Западная Европа и Северная Америка; у нас также в известных районах эти фосфаты незаменимы; 2) замена там, где возможно, этих фосфатов более дешевыми, которые, однако, требуют более детального знания особенностей почв, отдельных растений и влияния сопутствующих удобрений.

Остановимся сначала на путях к удешевлению фосфатов первой группы.

Известно, что теперь у нас суперфосфат настолько дорог, что об употреблении его под хлеба не может быть речи, и только привилегированные культуры, как сахарная свекловица и хлопчатник, допускают применение его в известных размерах. В борьбе с этой дороговизной нужно различать две стадии, из которых одна, более осуществимая, состоит в устранении *абсолютной* дороговизны суперфосфата, в выравнивании стоимости его производства у нас с таковой же на Западе; другую, труднее преодолимую стадию (по крайней мере по этой линии) представляет борьба с *относительной* дороговизной легкоусвояемых фосфатов; мы разумеем ту остаточную долю дороговизны, которую нельзя устранить одним только приведением цены на суперфосфат (выраженной в золоте) к западноевропейской норме — она зависит от роковой необходимости ценить наш хлеб дешевле (на месте производства) по сравнению с западноевропейским, если мы хотим быть экспортерами; а более дешевый хлеб способен вынести только более дешевое удобрение.

Сказанное иллюстрируется следующими конкретными цифрами. Во Франции в 1923 г. суперфосфат (14%) стоил 2 руб. 20 коп. золотом, в России — 6 руб. 80 коп. (в 1924 г.— 5 руб. 50 коп.), т. е. цена его была у нас втрое выше, чем во Франции, но если при этом еще цена на хлеб в Париже вдвое выше, чем в Харькове, то условия применения суперфосфата под хлеб в Харьковской губернии были в 6 раз менее благоприятны, чем во Франции; этим объясняется *нулевое* потребление суперфосфата под хлеба в условиях 1923 г., несмотря на блестящие данные опытных полей для суперфосфата; единственным потребителем являлся Сахаротрест. Остановимся, однако, ближе на путях понижения абсолютной стоимости суперфосфата и на тех хозяйственных последствиях, к которым приведет уже эта ступень на пути будущего постепенного согласования заданий химической промышленности с нуждами земледелия.

Дороговизна суперфосфата зависит не только от работы заводов неполной нагрузкой, от кустарного добывания фосфоритов и отсутствия нормальных путей сообщения с лучшими рудниками, но еще и от игнорирования того факта, что ни суперфосфат, ни соответственное сырье нельзя возить по суше за тысячи верст. А значит, нельзя ставить задачей снабжение из одного центра отдаленных районов наподобие того, как идет снабжение, например, сахаром и другими негромоздкими продуктами, если только мы хотим, чтобы суперфосфат был доступен, т. е. пуд его стоил не больше, чем стоят теперь 600—800 г сахара. Поэтому *выравнивание абсолютной стоимости суперфосфата с заграницей должно быть достигнуто прежде всего порайонным распределением заводов при снабжении их сырьем по тому же принципу*; так, например, Пермский завод должен обслуживать Приуралье, а не возить суперфосфат (или колчедан) по железным дорогам под Одессу [6*], а Одесса должна иметь свой завод, базирующийся не только на турецком колчедане, но даже на африканском фосфорите, если подольские залежи окажутся неспособными давать дешевый фосфорит благодаря особым условиям залегания желваков (до войны Винницкий завод перерабатывал африканские фосфориты, потому что имел их по более дешевой цене, чем могли дать рядом лежащие подольские залежи).

Сказанное об Одессе относится к Ленинграду и Архангельску (отметим, что, например, в Шенкурском уезде при малых наделах, интенсивности земледелия и высоких ценах на хлеб имеются все данные для применения минеральных удобрений, включая и селитру: а северный крестьянин (он же «и мореплаватель, и плотник», и рыболов, и смолокур и пр.) чужд рутины и с жадностью ухватится за всякую меру к поднятию урожайности, если она будет предложена в форме, экономически приемлемой.

Кроме сказанного, для того чтобы наши рудники могли давать дешевый фосфорит, необходима механизация добывания (экскаваторы и пр.) и улучшение путей, служащих для подвоза фосфорита от рудников к заводам; заводы должны работать с полной нагрузкой. Одной из мер для этого должна служить организация кредита кооперативам, потребляющим суперфосфат, чтобы они могли давать заблаговременно заводам твердые заказы (если в Германии сельские хозяева при покупке суперфосфата пользуются полугодовым кредитом, то у нас срок этот должен быть скорее бо́льшим, чем меньшим).

Но что может дать в наших условиях снижение цены на суперфосфат до 3 рублей за центнер?

Оно дало бы нам, конечно, не то же самое, что имеет Западная Европа при тамошней цене на пшеницу в 12 руб. за центнер, но *все же очень и*

[6*] Другое дело — транспорт из Перми (или Кинешмы, Нижнего) по воде; так может доставляться двойной суперфосфат из Нижнего (или Саратова) в Туркестан для удобрения люцерны, предшествующей хлопчатнику.

очень многое, оно уже послужило бы рычагом для крупного сдвига нашего земледелия в сторону подъема. Помимо того, что внесение суперфосфата под свекловицу приняло бы крупные размеры и проникло бы в крестьянское хозяйство (чего теперь нет), тогда уже и хлеба смогли бы в известных случаях оплатить такой суперфосфат (см. вышеприведенные данные Харьковской опытной станции), но главное *такая цена позволила бы широко использовать суперфосфат как средство исправления не только фосфорного, но и азотного баланса в нашем хозяйстве*; мы разумеем стимулирование усвоения азота воздуха клевером и люцерной при удобрении их суперфосфатом, благодаря чему следующее растение хорошо обеспечивается и азотом, и фосфором.

Известно, что, например, в Туркестане суперфосфат, рассеянный весной по люцерне, часто удваивает сбор сена, действуя на все четыре укоса данного лета (причем в сумме может получиться 120—140 ц/га сена вместо 50—60); после пышного роста люцерны, удобренной суперфосфатом, хлопчатник может дать двойной урожай против среднего в Туркестане, а кроме того, удвоится количество навоза, получаемого за счет люцерны, что тоже поднимет урожаи хлопчатника и хлебов.

То же самое мы видим в Предуралье: суперфосфат почти удваивает укосы клевера, вызывая за 3 года урожай в 120 ц сена вместо 69 без удобрения, причем непосредственно следующие за клевером хлеба дают более крупные приросты, чем при непосредственном удобрении суперфосфатом, а следующие хлеба выигрывают от увеличения количества и повышения качества навоза. Но и при внесении под рожь в пару суперфосфат дает приросты зерна [7*] 4,5 ц, а следующий за ним клевер реагирует на внесение суперфосфата под рожь 60%-ным приростом сена; ясно, что при этих условиях внесение один раз в течение севооборота 3—4 ц суперфосфата (при цене последнего 3 руб. за центнер) не только окупится само по себе, но положит начало общему подъему хозяйства, притом не только в полеводческой, но и в животноводческой его половине.

Сказанное о Перми приложимо в общем (с местными вариациями) и ко всем тем случаям, для которых приведены данные опытных учреждений в первой половине нашей статьи, от Харькова до Архангельска и от Белоруссии до Урала включительно.

Так рассеивается миф о «недостаточной культурности наших почв», будто бы препятствующей применению минеральных удобрений [8*], и вместо этого воображаемого препятствия мы имеем дело с *реальной задачей снижения высоких цен на суперфосфат*, свидетельствующих о недостаточно высокой культуре в области нашей химической промышленности.

[7*] Среднее из 130 опытов (см.: В. Н. Варгин. Результаты работ опытных полей Уральской области, 1924).

[8*] Само собой разумеется, сказанное не относится к случаю зарастания пашни сором.

Является, однако, вопрос: когда же это снижение может быть достигнуто? Для некоторых районов, как Пермский, эта цель легче достижима в ближайшее время, для других она более зависит от отпуска кредитов, энергии строительства, от согласования деятельности большого числа учреждений, от разрешения впуска иностранного суперфосфата в портовые города, если они не могут получать изнутри страны суперфосфат по цене, равной привозимому из-за границы.

Но важно отметить, что не все районы должны ждать непременно завершения этого процесса развития суперфосфатного дела; многие области, удаленные как от уральского колчедана, так и от гаваней, могут найти теперь же другой подход к разрешению того же вопроса, *состоящий в применении простого размола имеющихся у нас в изобилии низкопроцентных фосфоритов,* которые непригодны для суперфосфатного производства, но при условиях, часто встречающихся в средней и северной России, могут заменить собой суперфосфат. Более того, интерес к этому приему не является только временным, он сохранится и тогда, когда мы преодолеем разницу в абсолютной стоимости суперфосфата у нас и за границей, ибо *здесь мы имеем подход к победе и над относительной дороговизной фосфатов,* по крайней мере для известных районов; это видно из следующего сопоставления.

Единица фосфорной кислоты в фосфорите теперь стоит в 8 раз дешевле, чем единица воднорастворимой P_2O_5 в суперфосфате; при механизации добычи возможно дальнейшее значительное снижение цены на фосфорит. Так, на Егорьевском руднике мне пришлось слышать, что при полной нагрузке экскаватора фосфорит может вместо теперешних 1 руб. 25 коп. обходиться лишь в 50 коп. за ц (особенно если будут вычерпываться оба слоя, московский и рязанский, лежащие в этом месте один над другим); размол, при правильной организации в должном масштабе, немного удорожает фосфорит.

Попробуем уяснить, что получилось бы от достижения такого уровня: так как принимают, что при замене суперфосфата фосфоритом нужно дать тройную дозу фосфорной кислоты, то это было бы равнозначно доставлению суперфосфата в 5 раз дешевле современной цены.

Для тех мест, где цена на рожь держится 3 руб. 60 коп.— 4 руб. 20 коп. за центнер, это означало бы приближение с экономической стороны к тем условиям снабжения земледелия фосфатами, какие имела Германия перед войной, когда стоимость суперфосфата равнялась $^1/_3$ стоимости ржи. Именно при этом соотношении применение фосфатов в Германии достигло крупных размеров (150 кг/га посева в среднем для целой страны), что и сопровождалось повышением урожаев в Германии до тройной против России высоты за последние 25 лет перед войной.

Поэтому выяснение всех местных возможностей замены суперфосфата фосфоритной мукой является для нас *задачей первостепенной важности,* тем более что достижение большего экономического эффекта на этом пути требует *меньших кредитов* со стороны государства. В этих районах

нет нужды строить заводы, нужна только организация добычи и размола фосфоритов на местах; поэтому здесь возможна *большая быстрота действия*, чем по линии «суперфосфатной», а так как в отличие от суперфосфата для приготовления фосфоритной муки годятся всякие фосфориты, то при достаточно густой сети установок возможно *сведение к минимуму расходов по транспорту*.

Остановимся ближе на тех факторах, которые позволяют при настоящих условиях нашего земледелия дальше идти навстречу экономическим заданиям и допускают применение фосфоритной муки в бóльших размерах, чем это делалось в Западной Европе. Недаром эти факторы и изучены были прежде всего в России. Западная же Европа, по меткому выражению Леммермана, до войны продолжала исправлять недостаток точных знаний особенностей отдельных растений и почв избытком применяемого суперфосфата.

В России же, как только вегетационным домиком в первый раз начал заведовать агроном, главной темой исследования стало именно расчленение тех факторов, от которых зависит действие фосфорита. С 1896 г. автором настоящей статьи были организованы в Тимирязевской академии систематические опыты в песчаных и в почвенных культурах; в 1898 г. к ним присоединилась вторая «вегетационная станция», работы которой также сосредоточились прежде всего на фосфоритном вопросе,— их начал П. С. Коссович в Ленинграде. Не входя здесь в подробности, отметим только, что уже в 1897 г. автор дал формулировку главных выводов [9*] относительно различий отношения разных растений к фосфориту и способности почвы разлагать фосфорит. В 1900 г. к изучению двух факторов (почва и растение) были добавлены наблюдения относительно роли сопутствующих удобрений. В дальнейших работах как автора, так и ряда других лиц (в России и за границей) эти выводы нашли полное подтверждение и дальнейшее развитие; остановимся вкратце на главных результатах.

I. Почвы, способные разлагать фосфорит

Почвы оподзоленные. Еще в 80-х годах А. Н. Энгельгардт обнаружил положительное действие фосфоритной муки на рожь при отсутствии действия на овес; опыты относились к району оподзоленных почв (Смоленской губернии). При всей определенности самих фактов отсутствовала определенность в объяснении их; одни полагали, что причина положительного результата для Смоленской губернии и отрицательного для Курской лежит в различии климата, другие придавали решающее влияние почве, но расхождение результатов для ржи и овса ставило вопрос о значении природы растения.

Наши опыты в 1896 г. обнаружили, что рожь сама по себе неповинна в усвоении фосфорита,—в песчаных культурах ни рожь, ни овес, ни

[9*] См. статью автора в журнале «Хозяин» за 1897 г.

другие злаки не обладают этой способностью; что на типичном черноземе, отзывчивом на суперфосфат, фосфорит не действует даже и при достаточном увлажнении, но введение подзола и торфа вызывает разложение фосфорита, делая его усвояемым и для ржи, и для овса[10*]; значит, в полученных А. Н. Энгельгардтом результатах *решающая роль принадлежит почве*.

Не входя здесь в ближайшее выяснение химических особенностей подзола, от которых зависит его способность разлагать фосфорит, отметим, что в условиях хозяйственных действие фосфорита на подзолах проявляется только тогда, когда так или иначе в почве накоплен запас азота, поэтому наилучшие результаты А. Н. Энгельгардт получал на пустошных землях, накопивших азот за время пребывания в залежи. Эти данные нашли превосходное подтверждение в позднейших работах Энгельгардтовской опытной станции, из которых мы возьмем следующий пример: урожай ржи в ц/га (средний за 4 года) без удобрения составлял 7,3, при внесении фосфорита — 13,8, навоза — 15,3.

Здесь навоз дал средний прирост в 8 центнеров, по парам (безнавозным) на старопахотных землях, по клеверищам получаются приросты в 3—5 ц, наименьше же реагирует на внесение фосфорита овес, так как рожь исчерпывает запас нитратов, накопленных в пару, и ко времени посева овса фосфор перестает быть минимальным фактором.

Болотные почвы. Другой род почв, обладающих способностью растворять фосфорит, представляют почвы, богатые кислым перегноем. Опытами Бременской станции установлено, что осушенные торфяники можно удобрять фосфоритом, у нас также имеется немало подобных данных. Так как при малом развитии осушительных работ у нас площадь обращаемых в культуру почв невелика сравнительно с площадью оподзоленных почв, то мы не будем здесь ближе останавливаться на растворяющей способности кислого перегноя, но вернемся к нему в рубрике «сопутствующих удобрений» ввиду возможного значения торфа при разложении фосфорита, который обычно применяют для удобрения минеральных почв.

Выщелоченные черноземы. Третий случай разложения фосфорита почвой открыт совсем недавно, но обещает быть важнее всех предыдущих. В преддверии черноземной полосы Тульской и Орловской губерний, по данным А. Н. Лебедянцева[11*], на этих почвах фосфорит сполна заменяет суперфосфат (при внесении тройной дозы P_2O_5), причем действие того и другого равно (или почти равно) действию навоза. В течение

[10*] Кажущееся расхождение показаний полевого и вегетационного опыта для овса объясняется тем, что в вегетационном опыте только фосфор ставился для каждого растения в положение минимума, в поле же рожь, следуя за паром, более обеспечена азотом, а для овса азот может оказаться в положении минимального фактора, а потому фосфор (в какой угодно форме) может на него не действовать; см. аналогичные результаты в пермских опытах (В. Н. Варгин. Там же).

[11*] См. Известия Шатиловской станции, начиная с № 2 (1921).

ряда лет наблюдались такие урожаи (в ц/га): без удобрения — 16,0; при внесении суперфосфата — 21,0; фосфорита — 21,3; навоза — 21,3.

Открытию этого нового района, сделанному Шатиловской станцией, мы придаем большое значение по следующим причинам: 1) это район более земледельческий, с гораздо бо́льшим процентом пашни, чем область оподзоленных почв; 2) это район почв, еще богатых азотом; поэтому здесь не нужно ни клевера, ни залежи, чтобы фосфор действовал, а раз фосфор находится в минимуме, то это создает наиболее выгодные условия для оплаты фосфатов. Это тот же случай, что в Харькове, но с добавлением важного для нас, выгодного отличия возможности замены суперфосфата фосфоритной мукой.

Площадь, занятую такими почвами в средней России, А. Н. Лебедянцев оценивает в 20—25 млн. га, а количество фосфоритной муки, потребное для заправки этих почв, — в 1,6 млн. т ежегодно при предположении, что ежегодно будет удобряться $^{1}/_{10}$ площади. Предстоит еще проследить, насколько эта кайма выщелоченных черноземов, достигающая в средней России протяжения в 200 верст по меридиану, является развитой по северной границе чернозема в западной и восточной России. Исходя из зональности почвенного покрова, можно ожидать в будущем расширения границ «лебедянцевского» района, но пока еще трудно предвидеть масштаб этого расширения.

II. Растения, способные использовать фосфорит без содействия почвы

Наши опыты 1896—1897 гг. показали, что в то время как большинство культурных растений, в том числе хлебные злаки и клевер, сами по себе (при замене почвы чистым песком) неспособны использовать фосфорит, имеется ограниченное число форм, физиологически отличающихся от остальных такой способностью. Из них особенно выделялся по силе воздействия на фосфорит *люпин*, этот энергичный азотособиратель, известный своей способностью расти на песчаных почвах и улучшать их за счет азота и углерода, взятых из воздуха, и за счет минеральных веществ, извлекаемых глубоко идущими корнями из-под почвы; оказалось, что такое устойчивое соединение, как апатитовый комплекс, не может противостоять растворяющему воздействию корневой системы люпина. В наших опытах люпин, выращенный на фосфорите, содержал, например, 96 мг P_2O_5, в то время как в тех же условиях остановившаяся в росте рожь содержала каких-либо 5 мг (что мало отличается от количества P_2O_5, содержавшегося в семенах ржи). Очевидно, благодаря этой растворяющей способности глубоко идущей корневой системы, в соединении с энергичным усвоением азота, люпин и может в первое время культивироваться даже без минеральных удобрений, что ему и создало на Западе репутацию верного «мелиоратора песков». Но при повторении культуры люпина требуется внесение минеральных удобрений, и вот тут-то

возможность замены более ценных фосфатов фосфоритной мукой и представляет интересный для нас момент. То, что люпин и в наших условиях не уронит своей репутации «мелиоратора песков» (и других бедных почв), показали еще коллективные опыты Черниговского земства, проведенные на крестьянских землях в 1914 г., а также последующие работы опытных станций, особенно Новозыбковской. В отчете о черниговских опытах можем встретить такие цифры:

		1	2	3	4	5
Урожай ржи (в ц/га)	По люпину	12,7	22,2	20,6	14,5	7,2
	Без люпина	6,0	6,3	9,0	9,0	3,0

Если взять общее среднее из всех опытов, включая и менее удачные (например, оттого, что заражение люпина не было правильно проведено), то все-таки в общем выводе получается 10,5 ц зерна по люпину против 5,8 ц без него (для соломы 21 и 11 ц).

Люпину, несомненно, предстоит крупное будущее в деле улучшения легких почв средней России, а через него и фосфорит становится пригодным для почв, лишенных кислых свойств; при этом люпин будет заменять и суперфосфатный завод, и завод «воздушной» селитры или синтетического аммиака, заменит и органическое вещество навоза. Все это он сделает за счет солнечной энергии, которую он лучше использует, чем злаки, да еще на том самом паровом поле, которое подлежит удобрению, так что расход на возку отпадает.

Что касается других растений, способных использовать фосфорит, как гречиха, горох, горчица, то их значение не может сравняться с возможным значением люпина в будущем.

III. Сопутствующие удобрения, способные вызвать разложение фосфорита

1. Наши опыты 1900 г. обнаружили резкое *растворяющее влияние солей аммония на фосфорит*, вызываемое деятельностью корней самого растения [12*]. Эти данные песчаных культур были подтверждены затем разными авторами (в России и за границей) и распространены на условия полевого опыта; даже для чернозема (несмотря на его богатство кальцием) наблюдалось рельефное действие сернокислого аммония как растворителя одновременно внесенного фосфорита (Харьковская опытная станция).

Однако сернокислый аммоний недешев, поэтому только там этот путь будет приемлем, где одновременно нужен и азот, т. е. преимущественно

[12*] См. итоги в нашем курсе «Учение об удобрении», начиная со 2-го изд. (1903) до 5-го (1922).

в нечерноземной полосе; но нечерноземная полоса располагает и другими путями для разложения фосфорита и другими источниками азота, более дешевыми, чем соли аммония, которые под хлеба вносить невозможно. Поэтому применение сернокислого аммония с фосфоритом в ближайшее время, вероятно, будет ограничено теми случаями, когда эта комбинация может заменить селитру и суперфосфат, т. е. при более ценных культурах (свекловица, хлопчатник).

2. Давно известно из опытов Флейшера и Кисслинга на Западе, Книрима в Риге, что *моховой торф оказывает разлагающее действие на фосфорит*; в нашей лаборатории вопрос этот подвергался пересмотру по двум причинам: а) в прежних опытах эффект разложения учитывался по переходу фосфорной кислоты в водную вытяжку; при этом учет производится неполно, ибо образование полурастворимых соединений (дифосфат кальция и пр.) тоже нужно считать положительным результатом, и очень может быть, что в прежних опытах, где находили до 60% водорастворимой P_2O_5 (Книрим), полурастворимой могло оказаться 90%; б) в наших опытах мы связали этот вопрос с учетом использования азота торфа, причем обнаружилось, что ходячее представление о большой закрепленности чуть не «намертво» этого азота является совершенно неверным. Даже некомпостированный торф из Завидова (моховой торф, служащий для фабрикации подстилки) оказался способным в течение вегетационного периода отдать растениям овса 27% всего внесенного с торфом азота, что, конечно, связано с идущими в почве процессами аммонизации и нитрификации (см. опыты П. Р. Купреенка). При двухмесячном компостировании торфа с добавлением золы до внесения в почву до 20% азота торфа переходит в форму аммиака нитритов и нитратов, и при внесении такого компоста эффект его в качестве азотистого удобрения будет, конечно, гораздо вернее и выше, чем при внесении в почву некомпостированного торфа. Но использование торфа как растворителя фосфатов должно быть разделено (во времени или в пространстве) от использования его в качестве источника азота, ибо для первой (кислое компостирование) цели требуется наличность именно тех свободных кислот, которые для второй цели (биологического компостирования) должны быть нейтрализованы. Участие углекислого калия или даже едкого калия, образующегося при смешении золы с известью, является полезным для перевода в раствор азотистых органических соединений и стимулирования благодаря этому деятельности бактерий; поэтому необходимо устраивать или два разных компоста и затем их смешивать, или проводить один и тот же материал последовательно через две стадии компостирования — кислую и щелочную.

Судя по имеющимся у нас данным вегетационных опытов, внесение в почву смеси фосфорита с моховым торфом, даже без предварительного компостирования, существенно повышает усвояемость фосфорита, но только отношение между количеством фосфорита и торфяного порошка должно быть достаточно широким (от 1 : 30 до 1 : 60 и выше).

3. Третьим видом сопутствующего удобрения, способным разлагать фосфорит, является *сера.* Опыты Липмана и Ваксмана в Америке показали, что компост из земли, фосфорита и серы способен накоплять большое количество растворимой фосфорной кислоты благодаря окислению серы в серную кислоту соответственными бактериями. У нас опыты А. А. Калужского в Саратове показали, что при внесении серы вместе с фосфоритом непосредственно в черноземную почву получается выравнивание действий фосфорита с действием суперфосфата.

Однако пока мы не имеем дешевой серы (опыты с колчеданом пока не привели еще к ясным результатам), этот метод не является для нас столь жизненно важным, как использование кислот торфа.

Итак, есть ряд путей к непосредственному использованию фосфоритов помимо суперфосфатных заводов, и эти пути нам нужно по возможности использовать; но все эти пути являются географически ограниченными, возможными лишь в известных зонах, причем есть области (притом самые важные в сельскохозяйственном отношении), где ни один из этих способов не может найти общего приложения и где без суперфосфата не обойдешься. Так, для района типичного чернозема если и можно в принципе предложить пользоваться сернокислым аммонием и серой для растворения фосфора почвы и фосфоритов, то практически это встречает препятствие не только в том, что мы не располагаем должными количествами этих материалов (и по должной цене), но и потому, что вряд ли целесообразно вносить азот в почвы, в нем не нуждающиеся, исключительно для воздействия на фосфорит.

Для полосы типичного чернозема по сумме имеющихся данных нужно считать, что суперфосфат нельзя заменить фосфоритом; реальными же факторами для разложения фосфорита, с экономической стороны не встречающими возражений, мы считаем пока следующие: 1) использование растворяющей способности подзолов и выщелоченных черноземов; 2) введение люпина на зеленое удобрение; 3) внесение торфа (мохового) совместно с фосфоритом (или приготовление заранее торфяно-фосфоритного компонента).

Если мы попробуем распределить наличность этих возможностей (как и отсутствие их) па карте европейской части России соответственно естественноисторическим и хозяйственным условиям, то получим, идя с юга на север, такие зоны с различными путями обеспечения урожаев фосфором и азотом (см. прилагаемую схему).

I зона (источник азота — почва, источник фосфора — суперфосфат). Если мы отбросим степной юго-восток и юг, как не нуждающиеся еще в удобрении, то в районе старой культуры с типичным черноземом (в Харьковской, Полтавской, Киевской и смежных губерниях) мы встречаемся с зоной, *требующей применения суперфосфата и имеющей возможность применять его даже теперь* благодаря развитой культуре сахарной свекловицы; а в ближайшем будущем применение суперфосфата в этой области должно принять крупные размеры, если не будет поздно с принятием

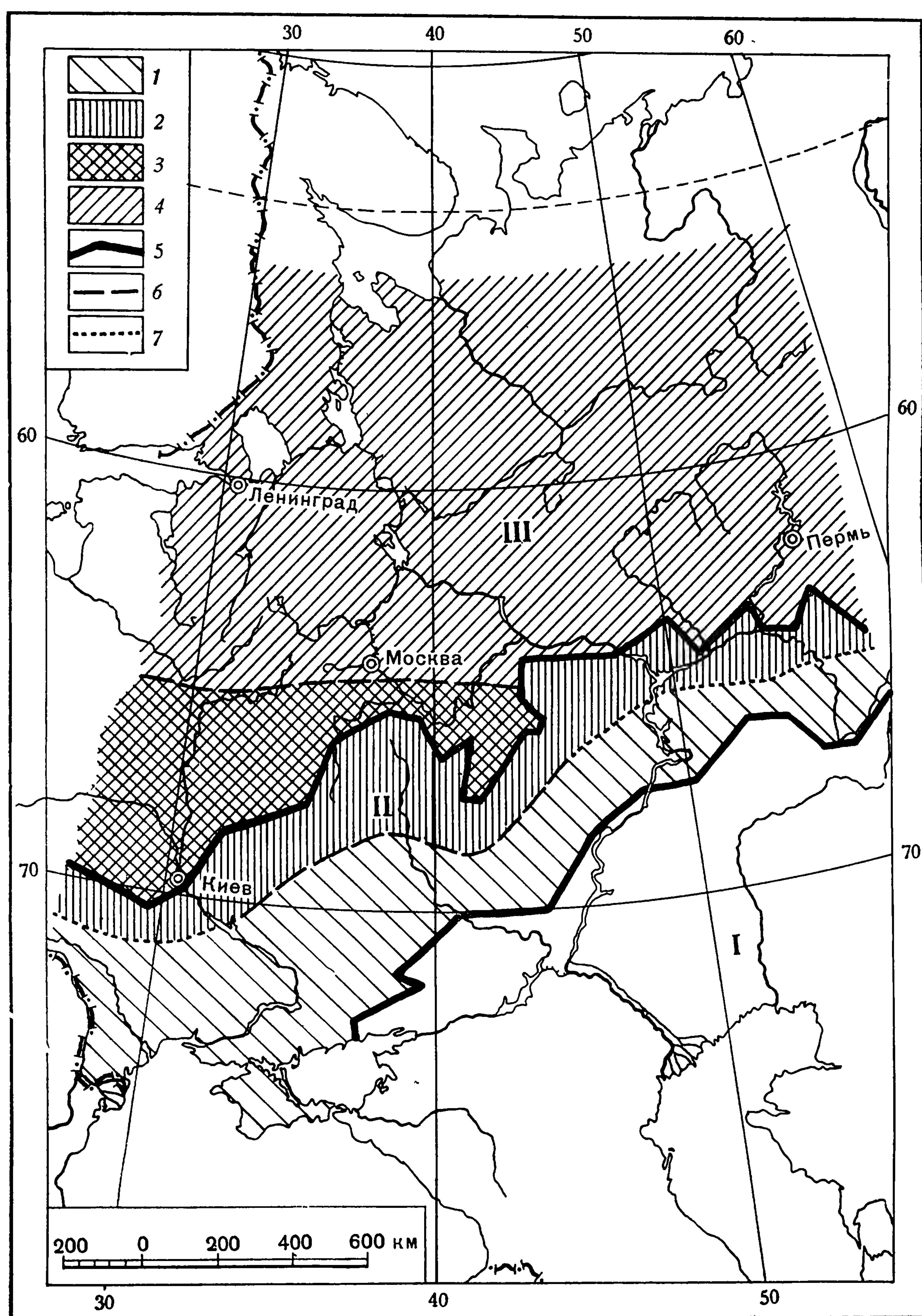


Схема применения минеральных удобрений

1 — только суперфосфат (или шлак); вносили кроме суперфосфата и шлака: *2* — фосфорит; *3* — фосфорит + люпин (однолетний); *4* — фосфорит + клевер (на подзолах) и фосфорит + торф (на всех почвах); *5* — граница районов почв; *6* — граница районов применения различных удобрений; *7* — граница не установлена; *I* — почвы, не нуждающиеся в удобрении; *II* — почвы, нуждающиеся в фосфоре; *III* — почвы, нуждающиеся в фосфоре и азоте

тех мер к удешевлению суперфосфата, о которых мы говорили выше. Южную границу этой зоны мы нанесли приблизительно по границе внедрения навозного удобрения в черноземную область, так как все имеющиеся данные говорят о том, что здесь навоз вносится как источник фосфора; северная граница проходит южнее северной границы чернозема.

Снабжение суперфосфатом этого района должно быть организовано, как выше было указано, согласно принципу наименьшего расхода на транспорт сырья (или самого суперфосфата), т. е. должны быть в первую очередь использованы подольские залежи фосфоритов и малоазиатский колчедан, а если подольские залежи не будут удовлетворять развивающееся производство с точки зрения их продуктивности или стоимости добычи, то следует прибегнуть к надежному массовому источнику сырья, который (в виде балласта) должен быть доставлен в черноморские гавани,— к африканским фосфоритам.

Все это говорится применительно к современному уровню заводской техники; в случае же ее движения вперед (например, применение способа профессора Брицке) будет использован низкопроцентный курский самород, залегающий в больших количествах в северной части этой зоны и теперь не находящий применения в суперфосфатном деле.

II зона (*источник азота — почва, она же и фактор разложения фосфорита*). К северу от предыдущей залегает такая зона, где замена более ценных фосфатов фосфоритом возможна в самых широких размерах, притом без осложнения какими бы то ни было попутными мероприятиями, ибо почвы этой области (выщелоченные черноземы) содержат достаточно азота, но нуждаются в фосфоре, притом способны разлагать фосфорит.

Северная граница полосы совпадает с северной границей чернозема, южная проходит верст на 200 южнее, по крайней мере в средней части России (по данным А. Н. Лебедянцева); к западу и востоку граница эта менее обследована, поэтому намечена на нашей карте лишь предположительно.

Снабжение фосфоритной мукой этого района возможно за счет нескольких вблизи расположенных залежей, как курские (Щигровский уезд), брянско-жиздринские, разрабатываемые в смежной части Смоленской губернии, рязанские и московские (Егорьевский рудник). Временно перевес снабжения может принадлежать руднику и не самому близкому к тому или иному пункту интересующей нас области: если, например, Егорьевский рудник опередил другие по механизации (там работает экскаватор), то удешевление добычи может позволить егорьевскому фосфориту проникать на расстояние большее, чем радиус действия рудников, пока лишенных механизации. С другой стороны, наличность приспособления для массового размола, как стоящий без работы цементный завод, может быть фактором, увеличивающим относительное значение того или иного местного центра снабжения. Отметим, что эта область (II) заслуживает вслед за (I) большего внимания со стороны государства, чем ей до сих пор уделялось, притом не только потому, что она имеет очень

высокий процент пашни, что ее почвы богаты азотом и способны разлагать фосфорит, но еще и потому, что *это область более устойчивых урожаев*, чем прилегающая с юга к I зоне «нулевая» (степная) полоса; снабжение фосфатами зоны I и II есть путь не только к повышению уровня, но и к *повышению стабилизации нашего суммарного урожая, к относительному уменьшению зависимости от капризных колебаний погоды на юго-востоке.*

III зона (*источник азота — люпин, он же и фактор разложения фосфорита*). К северу от границы чернозема (которая проходит через Киевскую, Черниговскую, Орловскую, Тульскую, Рязанскую и Нижегородскую губернии) лежит область почв, бедных азотом, в то же время среди них преобладают почвы, неспособные разлагать фосфорит. Тем не менее эти почвы можно не только снабдить азотом, но и достигнуть разложения фосфорита с помощью посевов люпина на зеленое удобрение в паровом поле; эта *люпиново-фосфоритная* зона может получить большие размеры в западной части, а к востоку она будет постепенно суживаться и сходить на нет. Базис этого вытянутого треугольника — Белоруссия, а вершина должна лежать где-либо в Нижегородской губернии. Границы эти обусловлены следующими причинами: 1) южная — тем, что чернозем вообще не нуждается в азоте люпина, а северная его часть не нуждается и в содействии корневой системы люпина для разложения фосфорита; 2) западная граница совпадает с границами республики, причем Белоруссия и Черниговщина играют роль авангарда в деле «люпинизации» этой зоны; 3) северная граница проводится нами по границе вызревания люпина (однолетнего) на семена, через Смоленскую губернию, юг Московской, север Рязанской и юг Владимирской губерний.

Провели мы эту границу в предположении, что крестьянин будет получать семена люпина в ссуду при первом его посеве, а дальше будет выращивать семена в своем хозяйстве. По мере же того как семена люпина будут становиться дешевле, граница этой зоны будет продвигаться к северу; то же самое возможно благодаря успехам селекции или введению в культуру новых форм люпина, как, например, Lupinus polyphyllus, обещающего стать наиболее надежным способом люпинизации для нашего севера. Для протягивания «люпинового холста» от Черниговщины к востоку в первую очередь необходимо создание семенных хозяйств (например, в Брянской или в нечерноземной части Рязанской губернии); снабжение этой полосы фосфоритом возможно за счет смоленских, калужских, рязанских и московских залежей.

Пока в этой зоне еще господствует трехполье, для люпинизации имеется громадный простор — до 33% пахотной площади. С переходом к новым севооборотам эта площадь будет постепенно сокращаться (до $^1/_4$—$^1/_6$ и дальше), поэтому именно теперь больше, чем когда-либо, возможно направить солнечную энергию, не использованную паровыми полями, на заправку почв азотом, фосфором и органическим веществом с помощью люпина и фосфорита. Ко времени сведения к минимуму паровой площа-

ди западная часть области может, во-первых, перейти к пожнивной культуре люпина (по уборке ржи) на зеленое удобрение (с внесением фосфорита), во-вторых, в будущем может приобрести значение во всей этой зоне культура люпина в яровом клину на семена для снабжения севера России и для экспорта; в-третьих, в будущем свойства почв, заправленных люпином и фосфоритом, существенно улучшатся. Начнет расти клевер там, где он раньше не удавался (а местами известкование, мергелевание сыграют свою роль), и несомненно, что часть почв, которые мы теперь рассматриваем как ржано-люпиновые, внуки наши с полным правом перечислят в разряд клеверно-пшеничных [13*].

Удобрять их будут каким-нибудь «экстрафосфатом» со 100% водно-растворимого фосфата кальция, переход к которому от местных фосфоритов, может быть, станет дешевым, например, при использовании пути, разрабатываемого профессором Брицке, или другого какого-нибудь способа, который появится в будущем!

Но в программе дня этой области — люпин + фосфорит!

IV зона (*источники азота — клевер и торф*; *растворители для фосфорита — ненасыщенные соединения оподзоленных почв и кислоты торфа* [14*]).

Эта зона охватывает всю остальную часть европейской России, к северу от предыдущей зоны до границ земледельческой культуры. Она не является однородной, в ней вкраплены интразонально различные комплексы и преобладают то одна, то другая возможности использования фосфоритной муки, а именно:

1. Почвы сильно оподзоленные должны стать центрами применения фосфоритной муки по клеверищам, частью пустошам; такой центр мы уже имеем в Смоленской губернии благодаря работам А. Н. Энгельгардта и станции, носящей его имя. По мере открытия поверхностно залегающих пластов фосфорита и удешевления добычи и размола число таких центров должно возрастать.

2. Применение фосфоритной муки возможно и на всех других видах почв, где имеется торф, бедный зольными веществами (моховые торфяники). Очагом применения торфяно-фосфоритного компоста легче всего может стать Шенкурский уезд Архангельской губернии, где и сейчас торфяное удобрение находит сплошное применение у крестьян, но пока только как источник азота и органического вещества. Фосфорит предстоит еще ввести в этот район путем организации правильной доставки (быть может, из Егорьевского рудника, пока не возникнут рудники по р. Сысоле или в других, более близких районах) и путем инструктирования шенкурских крестьян, столь отзывчивых, богатых инициативой и

[13*] Известно, что Шульц, владелец пустоши «Люпиц» в Германии, к концу своей жизни добился возможности сеять пшеницу на таком песке, на котором прежде ничего, кроме люпина, не родилось.

[14*] В будущем те же функции, как торф, должен, кроме того, выполнять Lupinus polyphyllus и подобные ему виды, способные развиваться на севере.

не жалеющих труда для получения урожаев более высоких, чем в «хлебородных» губерниях. Но и в очень большом числе других уездов, лежащих на громадной площади между Шенкурским районом и границей чернозема, могут оказаться налицо условия, благоприятствующие применению торфяно-фосфоритного компоста. В частности, под Москвой может явиться стимул к применению торфа иного рода, чем под Шенкурском [15*]. Здесь рожь, занимающая поле два года, дает продукт, слишком дешевый для дорогих подмосковных земель; выбросить же рожь мешает потребность в подстилке; поэтому организация заводов торфяной подстилки может содействовать сокращению ржаной (значит, и паровой) площади, а вместе с тем дать толчок к применению фосфорита па самых разнообразных почвах.

Существующая система налогов, при которой не освобождается от обложения чисто навозное скотоводство, в сущности составляющее только звено полеводства, не позволяет поднять урожай с помощью увеличения количества навоза даже там, где это было бы возможно при едином налоге. Введение торфяной подстилки в дополнение к соломе позволяет крупно увеличить количество навоза, получаемого от каждой головы скота; но для того, чтобы в таком навозе не было одностороннего избытка азота при недостатке фосфора, понадобится введение фосфоритной муки.

3. По мере продвижения культуры люпинов на север, благодаря селекции известных форм и введению новых форм, к двум возможностям применения будет присоединяться третья — комбинация люпинового удобрения с фосфоритом. Пока надежным для севера видом люпина обещает быть только Lupinus polyphyllus, способный при культуре в выводном клину давать два укоса в год, из которых первый может быть запахан в паровом поле под рожь, а второй — с осени внесен под картофель или яровые хлеба. Условия применения этого люпина на месте (в паровом поле), при подсеве под предшествующий пару овес, требуют еще разработки на опытных полях.

Наша схема обеспечения урожаев азотом и фосфором в различных зонах европейской части СССР является, конечно, лишь предварительным наброском, долженствующим дать некоторую канву для дальнейшей работы путем более точного проведения границ между отдельными районами. Кроме того, на нашей карте нанесены границы областей, согласно естественноисторическим особенностям их, но экономические условия снабжения теми или иными фосфатами могут наложить на этот фон другие узоры. Если, например, доставка фосфорита в Архангельскую губернию не будет достаточно дешевой, то вполне возможно, что иностранный суперфосфат раньше найдет там применение, чем фосфориты с Поволжья; но если пермский завод сумеет дать дешевый суперфосфат, то

[15*] Шенкурский уезд беден лугами, в нем преобладают песчаные почвы, поэтому мало кормов, мало навоза; торфяное удобрение позволяет там иметь максимум навоза при минимуме скота.

последний, как универсальное удобрение, будет распространяться и в таких местах, где, вообще говоря, возможно при должном умении и подборе условий применить фосфорит. Против этого ничего нельзя иметь; лучшее ведь только тогда становится «врагом хорошего», когда откладывают осуществление хорошего, не будучи в то же время в состоянии осуществить лучшее; свободный же выбор из нескольких возможностей никогда минусом не является. В частности, такой возможностью является еще и использование костяной муки, которой мы не касались, но которая также может играть заметную роль, преимущественно для II, III и IV намеченных нами зон. Но так как количество костей ограничено размерами животноводства, то в будущем *относительная роль* костяной муки поневоле будет падать, по мере того как применение фосфоритной муки и суперфосфата будет развиваться. Точно так же и количество томасшлака ограничивается работой металлургических заводов на определенных рудах (керченских). Поэтому, говоря о будущем снабжении страны фосфатами в государственном масштабе, можно основываться только на одном виде сырья — на добыче фосфоритов, в меру надобности направляя частью на суперфосфатные заводы, частью же — непосредственно в почву, после соответственного размола.

Каков же должен быть в будущем масштаб нашей фосфатной промышленности?

Мы можем говорить о применении у нас полутора миллиардов пудов минеральных удобрений как об идеале; но пока наше крестьянство обречено продавать свою рожь вдвое дешевле, чем она стоит в Германии, нельзя делать таких затрат на удобрения — нам нужно исходить из более скромных расчетов.

Предположим, что мы достигли удешевления производства и хотим дать возможность нашему крестьянству удобрять ежегодно $^1/_6$ пахотной площади 4 ц каких угодно фосфатов (обезличиваем их ради простоты); тогда для удобрения 10 млн. гектар потребуется около 4 млн. т фосфатов. Интересно, что к цифрам того же порядка приводит подсчет по размерам ежегодного отчуждения фосфатов в виде вывозимого на сторону зерна.

Но быть может, еще интереснее, что к этому же порядку цифр мы приходим при сравнении со страной экстенсивного земледелия, тоже экспортирующей хлеб,— с Америкой: в 1920 г. в Соединенных Штатах добыча фосфорита достигла четырех с лишним миллионов тонн, причем около $^3/_4$ этого количества было употреблено внутри страны; потребление суперфосфата в 1923 г. достигло 3,3 млн. т. Всех же минеральных удобрений Соединенные Штаты применяют около 7 млн. т в год.

«МАЛЬТУС» И РОССИЯ [32]

Речь профессора Д. Н. Прянишникова на юбилее 8 марта 1925 г. *

На рубеже XVIII и XIX столетия Мальтусом была сделана попытка определить ход изменений соотношения между численностью населения и хлебной продукцией, причем он пришел к известному выводу относительно размножения населения в прогрессии геометрической и невозможности поднятия земледельческой продукции больше, чем в прогрессии арифметической. Как часто бывает, особенно в области наук общественных, здесь возведены были в общий закон явления, верно подмеченные для известного времени и известных стран, но вовсе не дающие возможности для широких обобщений и предсказаний.

В эпоху Мальтуса прирост населения в Англии был 13 на 1000, т. е. близок к современному русскому приросту, отвечающему удвоению населения за 50 лет; тогда Америка удваивала население за 20—25 лет, даже Франция имела прирост 9 на 1000, но за 100 лет после Мальтуса она его снизила до 0,6, почти прекратив размножение на таком уровне питания, при котором о недостатке продовольствия говорить никак не приходится. С тех пор продукция земледелия во Франции сильно возросла и может впредь возрастать еще больше. Но если современная Франция не подчинилась «закону Мальтуса», идя опасным, чуть не самоубийственным путем, то Германия в период 1885—1913 гг. вышла из подчинения Мальтусу обратным путем: не задерживая размножения, она подняла продукцию в большей пропорции, чем возросло население за этот период.

Подсчеты Мальтуса были только *потенциально* верны — человечество *способно* размножаться с такой быстротой, что население удваивается за 20—25 лет, но эту способность оно *не всегда использует,* и кривая роста населения на деле изменяется сообразно S-образной кривой, по Горячкину, обнаруживая замедление подъема на известной стадии развития страны, а не непрерывное ускорение, как думал Мальтус.

Если же исходить только из средней, круто поднимающейся части кривой, то нетрудно подсчитать, что «через 950 лет население 50 губерний России вытеснило бы все народы земного шара и так плотно заселило бы сушу, не исключая полярных стран и пустынь, что на каждую квадратную сажень приходилось бы по 1 человеку. А через 3150 лет население 50 губерний не только вплотную покрыло бы всю поверхность земного шара, но вплотную (приблизительно по 4 человека на 1 куб. метр)

---

* Печатается по тексту, опубликованному в Юбилейном сборнике «Статьи и научные работы Д. Н. Прянишникова», т. 1, 1927, стр. 440—451. Впервые опубликовано в Вестнике сельского хозяйства, 1925, № 3.

заполнило бы все сферическое пространство между землею и луною, образовав массу человеческих тел, во много тысяч раз бо́льшую массы земного шара. Число русских граждан при этом выразилось бы цифрой 94 234 с 22 нулями» **.

Однако вернемся с луны на землю и посмотрим, как конкретно изменяется земледельческая продукция для разных стадий развития страны по схемам, которыми пользуются теперь экономисты [3]*.

Если не говорить пока о той фазе, в которую должно вступить хозяйство земного шара после распашки последних целинных пространств, без удобрения и мелиорации способных давать урожаи пшеницы, то в истории зернового хозяйства, как оно до сих пор шло, различаются следующие ступени.

1. В стране имеется достаточный запас незанятых земель, рабочие силы сельского населения заняты земледелием в полную меру своей производительности. При наличности черноземных почв (степи, прерии), не требующих удобрения, получаются избытки зерна, причем эти избытки из года в год увеличиваются, так как производство растет быстрее, чем население, вывоз ежегодно растет. Эту стадию развития проходят в настоящее время только Аргентина, Канада и Австралия (рис. 1).

2. Все лучшие земли, не требующие корчевки (или мелиорации), заняты: производство зерна не успевает уже следовать за ростом населения; избытки зерна существуют, но они все время убывают; экспорт сначала уменьшается лишь относительно, затем и абсолютно.

Темпы производства зерна в начале XX века в США и России заметно отставали от роста населения. В других странах, например Румынии и Болгарии, это отставание было в этот период незначительным. Однако в Австро-Венгрии численность населения во второй период развития зернового хозяйства возросла настолько, что страна прекратила вывоз хлеба еще в 1910 г.

3. Третий период развития характеризуется тем, что страна переходит к ввозу зерна, но ввоз составляет еще меньше половины потребляемого в стране хлеба. В эту группу входят (по предвоенным данным): Германия, Франция, Дания, Италия, Швеция, Испания, Португалия.

4. В четвертый период уже бо́льшая часть потребляемого зерна ввозится из-за границы. В этой стадии находятся Англия, Бельгия, Голландия.

По этой группировке Россия попадает как бы в число благополучных стран, имеющих еще избытки хлеба; посмотрим, однако, ближе, что это значит.

Взглянув на прилагаемую таблицу, мы увидим, что производство зерна на 1 человека, казалось бы, должно решить вопрос о возможности вывоза или потребности во ввозе, на деле не является определяющей

** Нефедов. Закон народонаселения в России, 1910.

[3]* Макаров. Зерновое хозяйство Америки, 1924.

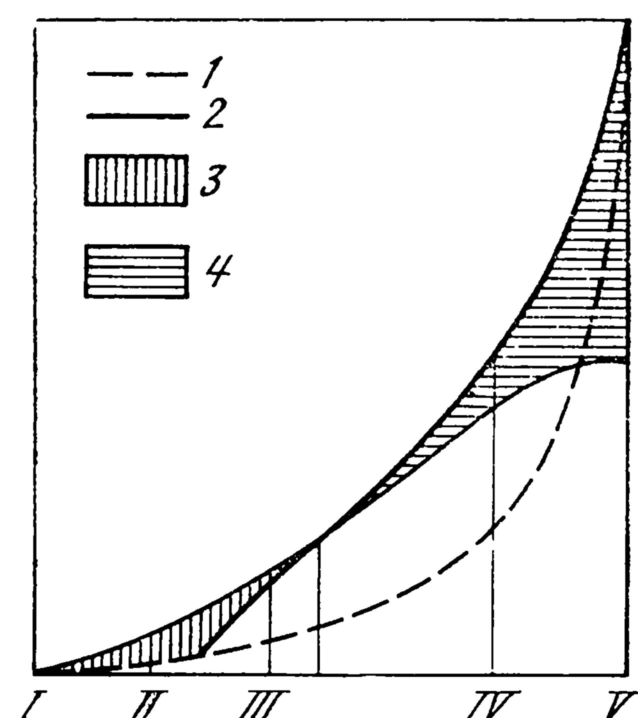


Рис. 1. Производство зерна и рост населения в западных государствах (по Макарову)

1 — рост населения; 2 — производство зерна; 3 — вывоз зерна; 4 — ввоз зерна; I—V — периоды

наличность «избытков» зерна — это понятие для каждой страны свое. Так, Дания ввозит зерно при продукции, значительно превышающей продукцию вывозящей России, а Россия вывозит при уровне продукции, на котором Германия и Франция ввозят, вывозит, собирая только 60% от датской продукции; и если при этом Дания, ввозя, «не по чину берет», то Россия, вывозя, «не по чину дает» (рис. 2).

Производство зерна на одного жителя в разных странах за 1908–1913 гг. (в ц)

Голландия	1,5		Германия	4,7	Импортеры
Великобритания	1,5	Импортеры	Швеция	5,0	Импортеры
Бельгия	2,3	Импортеры	Дания	6,7	Импортеры
Италия	3,0	Импортеры	Румыния	7,4	Экспортеры
Испания	3,2	Импортеры	Аргентина	9,6	Экспортеры
Россия	4,0	Экспортер	Соединенные Штаты	10	Экспортеры
Франция	4,3	Импортер	Канада	18	Экспортеры

Другими словами, мы производим на жителя 40% того, что производят Соединенные Штаты; при этом вывозим $^1/_7$, а Соединенные Штаты только $^1/_{20}$ своей продукции.

Что же заставляет Россию продолжать вывозить хлеб в размере 15% своего урожая, при продукции в $2^1/_2$ раза меньшей, чем в Соединенных Штатах, которые перед войной сократили вывоз до 5% своей обильной продукции?

Причина лежит главным образом в том, что мы запоздали с развитием собственной промышленности.

По обилию всякого рода сырья и редкому разнообразию природных условий в пределах государства мы могли бы почти все производить у себя, сведя импорт (а значит, и экспорт) к минимуму. Но пока наша промышленность слаба, мы вынуждены получать многое из-за границы, а давать в обмен приходится преимущественно зерно (частью лен, пень-

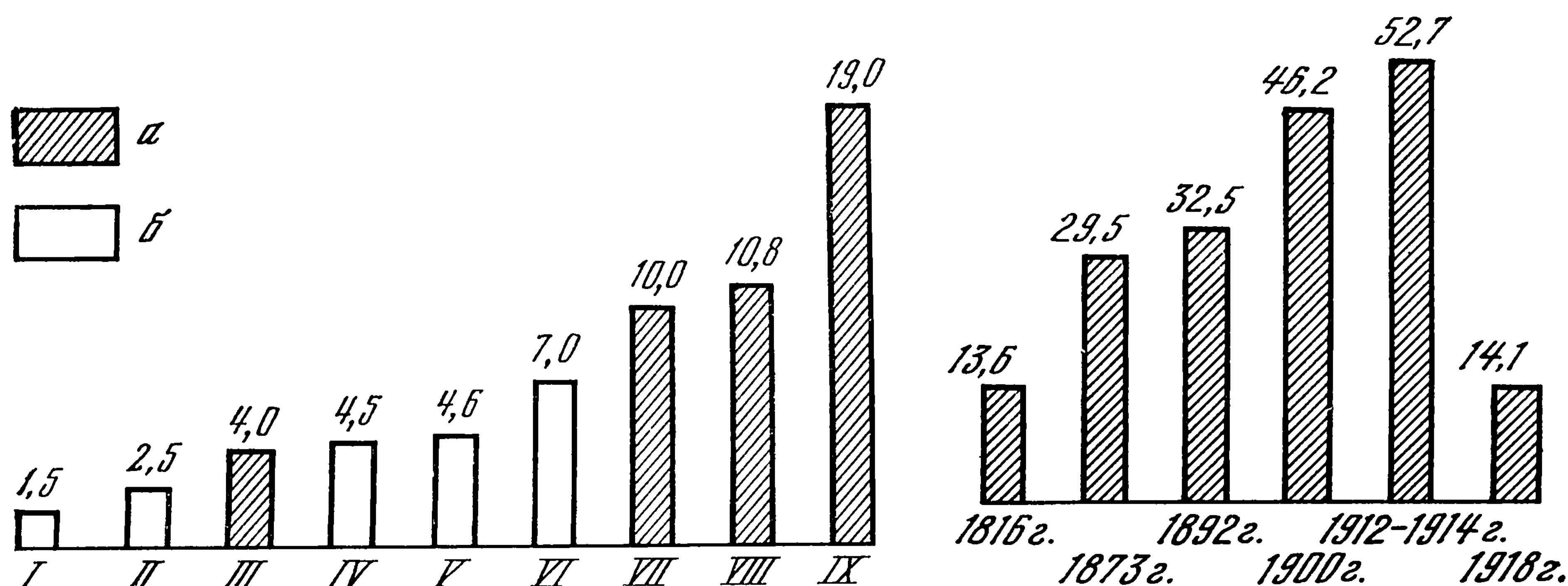


Рис. 2. Производство зерна в разных странах (в центнерах на одного жителя)

а — экспортеры; *б* — импортеры; *I* — Великобритания; *II* — Бельгия; *III* — Россия; *IV* — Франция; *V* — Германия; *VI* — Дания; *VII* — Аргентина; *VIII* — США; *IX* — Канада

Рис. 3. Потребление мяса в Германии в период с 1816 по 1918 г. (в килограммах на одного жителя)

ку, лес). Итак, пока для нас вывоз есть неизбежное зло, обрекающее крестьянство на вегетарианское питание.

Но зачем же нужен импорт таким странам, как Германия, Дания, которые производят больше хлеба (плюс картофель в пересчете на хлеб), чем мы?

Вопрос о нашем вывозе в эти страны тесно связан с развитием животноводства на Западе и недоразвитием его у нас. Для целого ряда стран (особенно для Германии и Дании) ввоз русского хлеба нужен вовсе не для прокормления населения, а для нужд животноводства.

Каким темпом Германия, поднимая свое благосостояние, увеличивала потребление продуктов животноводства, видно из следующих цифр:

	1816 г.	1873 г.	1892 г.	1900 г.	1912 г.	(1918 г.)
Потребление мяса * на одного человека (в кг)	13,6	29,5	32,5	46,2	52,7	(14,1)

* Honcap. Mittel und Wege zur Ernährung des deutschen Volkes durch eigene Production (1923). Для России (1912 г.) Гонкамп считает потребление мяса в 21,8 кг на человека.

Так, Германия при 70 млн. населения и при ее уровне урожаев свободно может произвести по 3,3 ц хлеба на человека на 12 млн. га, а ее посевная площадь составляет 35 млн. га; ей ничего не стоит сполна обеспечить население продовольствием и своим хлебом, только для этого нужно есть меньше мяса (рис. 3). Откорм животных — дорогое удовольствие: чтобы получить 1 кг свинины, нужно скормить 5 кг зерна (или дать часть в виде четверного количества картофеля).

Вот причина потребности Германии и подобных ей стран в русском зерне, отрубях, жмыхах, и в этом причина возможности вывоза из России — он достигается путем отказа от развития собственного животноводства: если бы наш крестьянин вздумал скудными «избытками» зерна кормить свою свинью, вывоз давно бы кончился.

Теперь остановимся еще на одном отличии от Америки, которое важно учесть при оценке перспектив поднятия производительности земледельческого труда в России,— мы разумеем плотность сельского населения или размер наделов.

В то время как в Западной Европе и в Америке происходил отлив избыточного (с точки зрения трудовой нормы) сельского населения в города, у нас такого поглощения городами не происходило [4*]; мы не только остались крестьянской страной до сих пор, но впредь для нас нет шансов пойти в этом отношении по следам промышленных стран, ибо их промышленность живет экспортом [33]. Нам нужно устраиваться внутри собственной страны, думать о внутренней разверстке сил и продуктов.

По отмеченной причине в смысле сгущения сельскохозяйственного населения мы находимся в совершенно другой фазе, чем Америка,— у нас существует такая перенаселенность, какой не знают Соединенные Штаты, не говоря уже об Аргентине и Канаде. Если отбросить Крайний Север и крайний юго-восток [5*], то в 35 губерниях европейской России в среднем уже в конце XIX столетия густота сельского населения в 3,5 раза превышала густоту его в Соединенных Штатах (считая в них только области, где возможно развитие земледелия), а естественный прирост населения в России в 5 раз был выше, чем там [6*]. В районах же наибольшего загущения (Украина) перенаселенность такова, что на душу сельского населения приходится чуть не вдвое меньше посевной площади, чем во Франции (0,75 га против 1,3), поэтому если даже предположить интенсивность земледелия, равную французской, то половина населения в сущности остается без работы [7*]. Тут приходится говорить о приближении к такой скудной продовольственной норме при существующей системе хозяйства, что население может существовать лишь при вегетарианском питании; мало того, здесь наступает конфликт уже между питанием

[4*] Вот приблизительные соотношения между сельским и городским населением в разных странах в начале XIX века (в %).

	Франция	Германия	США	Англия	Россия
Города и фабрики	58	61	64	87	13
Села	42	36	36	13	87

[5*] Как не могущие быть густозаселенными.

[6*] Нефедов, стр. 55.

[7*] Корхов. Культура сахарной свеклы как наилучший путь прогресса в сельском хозяйстве Украины. Сумы, 1921.

человека и прокормом рабочего скота — лошадь на малых наделах не окупается и отнимает непродуктивно площадь от пищевых растений под кормовые; отсюда возрастание процента безлошадных не как проявление случайных бедствий, но как принципиальное проведение определенного организационного приема, вытекающего из мелкости наделов.

О трудовой норме земельного надела по типу Соединенных Штатов нам совершенно говорить не приходится; даже в восточных губерниях, в области сухого земледелия, мы имеем совершенно другую густоту сельского населения, чем в соответствующих штатах Америки. Так, Н. М. Тулайковым проведено сравнение со штатом Канзас, приближающимся как по природным условиям, так и по размеру площади к губерниям Воронежской, Тамбовской и Саратовской, вместе взятым: эти губернии населены в 5—6 раз плотнее, чем Канзас, а для сельского населения контраст еще больше (ибо в Канзасе его лишь около 50%, а в названных губерниях 77—85%). Средний размер фермы в Канзасе 72 десятины; на душу сельского населения приходится около 25 десятин всей земли, а в трех названных губерниях — 3,12 десятины (1897), т. е. в 8 раз меньше, чем в Канзасе. Если взять среднюю американскую норму (12 десятин на душу), то с точки зрения наделения по трудовой норме в 46 губерниях европейской части России окажется 54 млн. такого населения, которое приходилось бы рассматривать «*как абсолютно избыточное и лишнее население*», если только не взглянуть на дело с другого конца и не признать все мечтания о трудовой норме по типу зернового хозяйства для современной России «*абсолютно избыточными и лишними*», ибо они не отвечают современной стадии развития нашей страны. Мы должны считаться, конечно, прежде всего с фактом перенаселенности в смысле несоответствия густоты населения с системой хозяйства в том резко выраженном размере, в каком он уже имеется налицо, но важно еще учесть и динамику процесса, чтобы иметь возможность заглянуть в будущее, хотя бы и не столь отдаленное, как в ранее приведенных подсчетах, а хотя бы лет на 25—30 вперед [34].

Нам могут возразить относительно перспектив дальнейшего увеличения населения, что нельзя прилагать довоенную мерку к современным условиям, когда война, болезни и голод задержали прирост населения. Но мы должны отметить фактор и обратного действия, это изменение форм землевладения, которое должно дать новый толчок перевесу сельского населения над городским. При крупном владении на 100 га пашни содержат 18 человек рабочих, а при мелком крестьянском землевладении на 100 га пашни кормятся 250 человек [8*]. Таким образом, для продовольствия городов крупное землевладение может дать гораздо больше, чем мелкое, и, ликвидировав латифундии, мы до известной степени предрешили направление будущего развития страны в смысле невозможности сильного развития городов. А так как именно в городах прирост

[8*] Цит. по: Honcamp, 1923.

населения замедляется (поздние браки, выкидыши и пр.), а крестьянское население более многодетное, то указанная реформа должна дать толчок приросту населения, который быстро покроет пробелы, получившиеся под влиянием событий 1914—1921 гг. [35]

Но, во-первых, указывают, что переселение [9*] 1,5—2 млн. ежегодно невозможно, так как у государства пока нет средств. Во-вторых, промышленность тоже не может каждый год привлекать 1,5—2 млн. новых рабочих, а кроме того, этим они не снимаются с продовольствия на той же пахотной площади (думать же о развитии индустрии за счет ввозимого хлеба для нас невозможно).

Охотно согласимся, что ни переселение [10*], ни промышленность не могут в наших условиях поглощать по 1,5—2 млн. населения в год; добавим к этому необходимость в ближайшее время экспорта и необходимость страхования от неурожаев.

Это усиленное размножение населения в России, не прекратившееся при изменении наделов, вызывает двоякое к себе отношение; одни видят в накоплении *живой силы* залог *мощи страны* как в производительном отношении, так и в *смысле обороны*.

Другие же видят в нашем темпе размножения угрозу повторения *ирландских голодовок* ввиду того, что ни переселение, ни развитие промышленности не могут отвлечь от деревни больших количеств населения, а к возможности достаточно быстрого и крупного поднятия сельскохозяйственной продукции относятся скептически и думают, что единственное средство содействовать поднятию материального уровня населения России — это провести подчинение инстинкта размножения количеству имеющихся средств существования и интересам следующих поколений.

Но попробуем проверить, насколько эти опасения основательны, и посмотрим, не может ли современная техника земледелия указать такие меры, которые дали бы возможность, например, *утроить продукцию* за то время, когда население удвоится? На это мы можем дать совершенно определенный ответ: да, технически это вполне возможно (*не касаемся вопроса о возможностях иного порядка*). В этом направлении можно идти прежде всего следующими тремя, теперь же нам доступными путями: 1) введение в севооборот растений более продуктивных, чем хлеба, которое одно способно удвоить сбор переваримых (для человека) веществ со всей посевной площади; 2) поднятие урожаев хлебов с помощью удобрения и правильной обработки на двойную высоту для чернозема и тройную для нечернозема против современных крестьянских урожаев; 3) расширение запашки, возможное в очень больших размерах для нечерноземной полосы европейской России (и Сибири).

Более продуктивными, чем хлеба, являются пропашные — картофель и корнеплоды. Средний для России урожай картофеля (75 ц клубней

[9*] 130 млн. населения при 1,5%-ном приросте.

[10*] Нефедов. Указ. соч., стр. 179. Такие же выводы см. в книге Лубны-Герцык «Что такое перенаселение?» (1923).

с га) содержит 19 ц сухих веществ, а средний урожай ржи (7,5 ц) только 6,6 ц, т. е. картофель дает почти в 3 раза больше перевариваемых сухих веществ, чем рожь (при этом крахмала в 3 раза и азотистых веществ почти в 2 раза больше). Но так как рожь занимает поле два года, то в сущности можно снять два урожая картофеля вместо одного урожая ржи, т. е. получить почти в 6 раз больше калорий переваримой части урожая. Однако картофель, давая абсолютно больше и крахмала и азотистых веществ, содержит их в несколько ином отношении, чем хлеба, именно 1 : 10 вместо 1 : 6, поэтому расширение культуры картофеля нужно сопровождать расширением культуры бобовых (гороха, бобов, чечевицы). Предположим, что мы вместо комбинации *пар — рожь* вводим комбинацию *горох — картофель*; тогда мы за два года получим вместо урожая ржи *четверное* количество сухого вещества в урожае без понижения «белковости» пищи.

Приведенные расчеты даются нами, однако, лишь ради наглядности, по замена ржи картофелем и горохом вовсе не входит в число наших современных задач; только на стадии густоты населения, исключающей полевую культуру из-за невозможности иметь рабочий скот и вызывающей переход к огородной культуре, как в густо населенных частях Китая, подобная мера может стать реальной. Для нас же очередной задачей является *выведение картофеля из огорода в поле*, причем это возможно без уменьшения валового сбора хлебов, как показывает опыт Германии; благодаря введению пропашных растений так улучшается обработка почвы, что урожаи хлеба повышаются, чем компенсируется частичное уменьшение (смягчаемое сокращением площади под паром) площади под хлебами. Если Германия, имеющая относительную площадь под картофелем, вчетверо превышающую нашу, провозглашает девиз: «будем дальше увеличивать площадь под картофелем, ибо это не уменьшает валового сбора хлеба», то на той ступени полеводства, на которой находимся мы, это тем более возможно сделать.

Предположим, что мы переходим от зернового трехполья к четырехполью с картофелем: пар, озимь, картофель, овес; посмотрим, как изменится от этого общая продукция. Возьмем надел в 4 гектара, предположим сохранение современного крестьянского уровня культуры (по размерам удобрения и пр.) с урожаем ржи 7,5 ц и овса 6,7 ц; не будем учитывать повышение урожая ржи (ибо оно скажется лишь при повторении севооборота), учтем только, что овес должен дать после картофеля 8,2 ц вместо 6,7; тогда получим следующее сопоставление (в ц):

Поля	Урожай	Сухое вещество
I. Трехполье		
1⅓ гектара пара	0	0
1⅓ » ржи	10,0	8,8
1⅓ » овса	8,9	7,8
Всего		16,6

Поля	Урожай	Сухое вещество
II. Четырехполье		
1 гектара пара	0	0
1 » ржи	7,5	6,6
1 » картофеля	75,0	18,8
1 » овса	8,2	7,2
Всего		32,6

Таким образом, *одно только введение картофельного клина уже дает удвоение продукции для всей площади,* даже если в остальном уровень культуры остается неизменным.

То, что сказано о картофеле, относится и к корнеплодам; будучи отзывчивы к удобрениям, последние на плодородных почвах могут дать сами по себе еще большее повышение продукции, чем картофель; точно так же и повышение урожаев хлебов после корнеплодов сильнее, чем после картофеля. Культура корнеплодов требует большего количества рабочих дней на десятину, и если они находят сбыт (как сахарная свекла), то при их культуре находит хорошее приложение труд того населения, которое при культуре хлебов является уже «лишним», причем труд женщин играет при этой культуре бóльшую роль, чем при культуре хлебов (работы по мотыжению и прорывке); различия в размерах приложения труда на единицу площади при переходе от примитивных систем земледелия к интенсивной культуре показывают [11*] затраты труда в рабочих днях на гектар:

Залежное хозяйство (овцеводство, 1/10 пашни)	3
Зерновое трехполье с поздним паром	25
Примитивное беспарье	39
Улучшенное крестьянское хозяйство с 1/6 свеклы (удобренный пар, животноводство для своих нужд)	60
Заводское хозяйство с 30% свеклы	95

При должном удобрении процент площади под свеклой может возрастать и выше 30, а на каждую десятину свеклы требуется в наших условиях до 200 дней (включая прямые и косвенные затраты труда по Корхову), для свекловичных семенников даже 320 дней.

Однако при всем значении свекловицы для перенаселенной Украины нужно помнить, что свекловица есть растение лучших почв и лучшего климата, картофель же более универсален — он может расти всюду, где растет рожь; культура его возможна при том же скудном крестьянском инвентаре и не требует никаких особых навыков, а главное, картофель

[11*] Корхов. Культура сахарной свеклы как наилучший путь прогресса в сельском хозяйстве Украины. Сумы, 1921, стр. 23.

при малых наделах имеет непосредственное пищевое значение и не требует близости завода для реализации урожая; поэтому значение картофеля является более общим, чем сахарной свеклы.

Обычно думают, что увеличение роли картофеля в продовольствии населения непременно связано с понижением уровня питания; но из того, что это часто бывает, не следует, что так непременно должно быть; так, есть способы готовить хлеб с введением крупной доли картофеля без понижения содержания сухого вещества и белков в хлебе [12*].

Мы выше сделали примерный подсчет, что́ даст введение картофеля, намеренно исходя из предположения, что уровень культуры (количество удобрения) не меняется, чтобы учесть влияние только одного фактора — выбора культурного растения. Теперь пойдем дальше и посмотрим, как влияет одновременно улучшение культуры и введение пропашных на общую продукцию; возьмем два примера такой улучшенной культуры, а именно, во-первых, цифры урожайности для группы культурных хозяйств Харьковской губернии, во-вторых, для опытного поля Академии им. К. А. Тимирязева за последние годы и подсчитаем продукцию для того же воображаемого четырехполья при одном гектаре в каждом поле, как это мы сделали выше.

Итак, в то время как переход от трехполья к четырехполью с картофелем давал нам сам по себе удвоение продукции от 17 до 33 ц сухих веществ с той же площади, совместное действие такого перехода с более высокой культурой способно к четверной, шестерной и даже девятерной продукции!

Если харьковские данные могут быть приняты непосредственно, то другие цифры требуют оговорок в том отношении, что данные опытных учреждений не подлежат прямому перенесению в хозяйства без принятия во внимание *организационного момента*, в данном случае — вопроса об источниках удобрения. Если иметь в виду навоз (о минеральных удобрениях говорится ниже) и отвести часть площади под клевер, то нужно сделать соответственную поправку: например, при шестиполье взять $^2/_3$ приведенного итога и говорить о *шестерной продукции* (по масштабу опытного поля); если же иметь в виду пятиполье (рожь, картофель, овес, клевер, клеверный полупар) с минеральными удобрениями, то можно говорить о семерной продукции по сравнению с современной крестьянской.

В последнее время нашими опытными учреждениями получен ряд ценных данных, открывающих новые перспективы в этом отношении. Так,

---

[12*] По рецепту, выработанному автором, для приготовления такого хлеба берется 65% вареного картофеля, 25% ржаной муки и 10% гороховой муки, при условии приготовления теста без введения воды; так как при выпекании около половины воды, содержавшейся в картофеле, испаряется, то получается хлеб нормального состава и хороших свойств, даже и без введения гороховой муки (другой прием удаления части воды из картофеля состоит в том, что сырой картофель измельчается на терке и кладется под гнет, отжатая масса идет в хлеб, а стекающий сок идет на замешивание корма для скота).

	1. Культурное хозяйство Харьковской губернии		2. Опытное поле академии	
	урожай	сухое вещество	урожай	сухое вещество
Пар *	—	—	—	—
Рожь	17,5	15,5	33,0	28,8
Картофель	151,0	37,8	360,0	90,0
Овес	14,0	12,3	27,0	23,7
		65,6		142,5

* Мы не вводим за́нятых паров, чтобы не усложнять расчета многообразием комбинаций, ибо пары могут заниматься и кормовыми и пищевыми растениями.

оказалось, что как раз в густо населенных черноземных районах фосфаты могут сыграть большую роль, ибо все действие навоза в этих условиях сводится к действию фосфора, азотом же чернозем еще достаточно богат; возьмем яркий пример из нового отчета Харьковской опытной станции (1924), где приведены такие десятилетние средние для ржи (в ц/га): без удобрения — 13,0; селитра — 13,0; суперфосфат —19,8; навоз —20,6.

Здесь различие между действием суперфосфата и навоза ничтожно. Также для Полтавской, Киевской, Тульской губерний констатирована преобладающая роль фосфора в удобрениях и возможность возместить недостающий навоз внесением фосфатов. Для нечерноземной полосы, где одновременно приходится заботиться об обогащении почвы азотом, наилучшие результаты получаются при внесении фосфатов по клеверному фону, но нередко и до того, как таковой фон создан, эффект фосфатов значителен; так, Пермская опытная станция в среднем из 132 случаев наблюдала прирост урожая ржи на 60%, причем последействие суперфосфата на укосах клевера выражалось тоже 60%.

Чтобы видеть, какую роль могут играть минеральные удобрения в современном земледелии, упомянем только, что Западная Европа применяет теперь около 6,6 млн. т одних только азотистых удобрений из общей суммы около 32 млн. т), а 6 млн. т селитры позволяют Европе получать добавочно почти 25 млн. т хлеба, что вдвое превышает наш максимальный вывоз в прежние годы.

Таким образом, азотная промышленность явилась как бы той новой страной, которой уже не хватает на земном шаре для вывоза хлеба в Европу, явилась компенсацией той перспективы прекращения вывоза из Соединенных Штатов, которая предстоит лет через 15—20.

«Химификация земледелия» является теперь и для нас очередной задачей, хотя начать мы должны не с азотной, а с фосфатной промыш-

ленности, как это сделали Соединенные Штаты, применяющие теперь около 6 млн. т удобрений (преимущественно фосфатов).

Третий путь увеличения сельскохозяйственной продукции есть путь расширения запашки. Даже в европейской России площадь пашни составляет около 30% всей поверхности, в то время как многие промышленные страны Запада имеют запашку в 60%. В средней России (даже Московская губерния) посевная площадь составляет каких-нибудь 13%, но лесные земли требуют корчевки и особых затрат на удобрение, поэтому заселение лесной части России и Сибири должно сопровождаться освобождением от налога на достаточно длительный срок (лет на 10—20, смотря по условиям места).

Итак, мы можем с помощью введения пропашных культур клевера и минеральных удобрений поднять продукцию в 6—7 раз, а удваивая еще и запашку,— в 12—14 раз.

Если принять во внимание, что наши потомки будут потреблять больше мяса, а это потребует отведения большей площади под кормовые растения, то окажется, что продукция хлеба (и картофеля в пересчете на хлеб), идущего в пищу людям, поднимется только в 8 раз, и то это означает, что еще на *150 лет вперед Россия может не думать о недостатке средств продовольствия, если она даже будет удваивать население через каждые 50 лет*. (При этом мы еще не считались с использованием громадных пространств Сибири.) Итак, нет решительно никаких оснований опасаться, что в близком будущем Россия будет вынуждена сократить прирост населения, если только иметь в виду естественноисторические условия и возможность пользования достаточно совершенной техникой земледелия, а не какие-либо иные факторы. Но совершенно верно, что низкий уровень нашего земледелия не отвечает не только будущему приросту населения, но даже и современной его густоте; необходимы энергичные меры по согласованию техники земледелия с потребностями возрастающего населения в продовольствии, понимая под ним не один только хлебный паек.

РЕЗЕРВНЫЙ МИЛЛИАРД [38]

(Химизация земледелия нечерноземной полосы) *

Известно, что химизация играет главную роль в поднятии земледелия на Западе; так если урожаи в Германии достигли тройной высоты против средневековых, а в Голландии, Бельгии и Дании — даже четверной, то по крайней мере половина этого подъема зависела от развившегося за последние полстолетия применения минеральных удобрений, среди которых преобладали по массе фосфаты и калийные соли. Но в послевоенные годы стала развиваться также азотная промышленность, быстро превзошедшая по размерам добычу чилийской селитры. К 1926 г. общая продукция азотистых удобрений на земном шаре достигла 8 млн. т, но так как успехи техники в этой области растут с каждым годом и теперь строится много новых заводов (не только в Европе, но и в Соединенных Штатах и в Японии), то к 1931 г. ожидается производство 25 млн. т азотистых удобрений, а это (на фоне других удобрений) должно дать около 80 млн. т лишнего зерна.

Как известно из пятилетнего плана, мы уже вступаем на этот путь весьма энергично, ибо производство минеральных удобрений предполагается через 5 лет поднять до 8 млн. т, т. е. более чем в 40 раз против современного; это значит сравняться с Германией в 1921 г. по массе применяемых удобрений. Но, с другой стороны, следует признать, что, при наличии громадной посевной площади по расчету на гектар, это даст количество удобрений все-таки в 5 раз меньшее по сравнению с Германией и в 10 раз меньшее, чем применяет Голландия, и что этот темп недостаточен.

Тяжелое наследие прошлого не может быть изжито немедленно, и, во всяком случае, необходимо как можно полнее оценить эту тяжесть для того, чтобы вернее и скорее избавиться от нее. Рассмотрим две стороны вопроса, а именно: 1) вопрос о высоте наших урожаев; 2) вопрос о размерах посевной площади.

Достаточно известно, что мы являлись страной чуть ли не с самыми низкими урожаями во всей Европе, что стоит в связи с недостаточным количеством применяемых удобрений; напомним здесь основные соотношения, сохранившиеся в период 1922—1926 гг.

Но, кроме малого количества минеральных удобрений, у нас применяется гораздо меньше навоза, чем на Западе, вследствие недостаточного развития животноводства, да и навоз этот беднее азотом и другими

---

* Печатается по тексту, опубликованному в «Известиях», от 16 июня 1929 г., № 136, с сокращениями.

питательными (для растений) веществами вследствие того, что наш скот редко видит концентрированные корма. При этих условиях часто не только нельзя поднять урожай, но даже трудно удержать его на прежнем уровне, хотя он является очень низким (таковы, например, условия в центрально-черноземной области, особенно в тех ее частях, куда начинает проникать отопление кизяком).

	Урожаи с 1 га	Удобрения на 1 га	Валовое количество удобрений (в млн. т)
	(в ц)		
Голландия	28,1	6,5	1,3
Бельгия	25,9	4,0	0,6
Германия	18,4	3,0	8,2
Япония	15,1	1,7	1,2
Франция	14,5	1,1	3,4
США	9,3	0,3	5,8
СССР	6,3	0,01	0,1

На фоне недостатка навоза применение минеральных удобрений приобретает особое значение. Многочисленные опытные данные (а особенно результаты недавних опытов, проведенных по инициативе Научного института по удобрениям, в которых устранена была прежняя погрешность относительно дозировки удобрений), показывают, что если исключить степной юго-восток, то удобрения действуют на наших почвах не хуже, чем на Западе. Вместо прежней формулы: «Сначала период навозного хозяйства и в будущем переход к минеральным удобрениям», мы должны для малоземельных районов подставить новую формулу: «Через минеральные удобрения к поднятию урожаев, притом не только зерна, но и кормов; тогда будет больше скота, больше навоза и еще больше поднимутся урожаи!»

В опытах последних лет мы имеем ряд примеров эффективного действия удобрений от Харькова до Архангельска, от Белоруссии до Перми и от Черноморского побережья до ферганской границы.

Если мы проведем линию от Перекопа на Самару, то от нее к юго-востоку будет лежать область молодого земледелия с еще не загущенными посевами и засушливым климатом, для которой значение удобрений еще невелико; если примем, что около 40% посевной площади лежит в этой области, то в удобрении нуждаются остальные 60%, или 66 млн. га современной посевной площади (через 5 лет это должно составить уже 85 млн. га). При следовании германским нормам (которые вдвое ниже голландских) потребовалось бы для современной площади 22 млн. т минеральных удобрений, а в конце пятилетия — 28 млн. т.

Вот здесь и возникает вопрос, затронутый выше: почему же в принятом пятилетнем плане [1928—1933 гг.] потребность нашего земледелия в удобрениях оценена ** только в 8 млн. т?

** Производственных возможностей мы здесь не касаемся.

Здесь мы встречаемся с вопросом о влиянии общих условий хозяйства на интенсивность культуры.

Мировой опыт говорит нам, что интенсивное хозяйство свойственно только странам, ввозящим хлеб, а не вывозящим его, ибо степень интенсивности хозяйства является функцией цен на продукты сельского хозяйства. Сообразно этому мы находим наиболее интенсивное хозяйство с сильным удобрением полей в Голландии, Бельгии, Дании; но [хозяйство] ведется самым экстенсивным образом (без применения удобрений) в восточных штатах Северной Америки и в Аргентине, т. е. в районах дешевого экспортного хлеба. Мы же совмещаем в пределах Союза как области ввоза, так и вывоза хлеба.

Соответственно этому и у нас районы возможной интенсификации определяются географией хлебных цен. Так, применение наиболее энергично действующих азотистых удобрений возможно там, где цена на них равна цене хлеба или ниже ее; у нас это условие имеет место для потребляющей полосы, но не для производящей, как это видно, например, из следующего сопоставления (1927) (см. таблицу).

	Германия	СССР		Германия	СССР	
		производящая полоса	потребляющая полоса		производящая полоса	потребляющая полоса
	цена (в руб. за тонну)			% от цены ржи		
Рожь	116	42	104	100	100	100
Аммиачная соль	91	97	97	78	230	94
Суперфосфат	30	36	36	26	85	35
Томасов шлак	16	(27)	27	14	65	26

Мы берем как мерку цену на рожь, так как цены на овес подобны ржаным, а большая часть пшеницы (особенно яровой) сеется в местах, где удобрение имеет еще мало значения.

Таким образом, в потребляющей полосе соотношение цен подобно германскому, в производящей же полосе оно раза в 3 менее благоприятно. Поэтому в потребляющей полосе выгодно применять удобрения не только под интенсивные культуры, но и под рожь и овес, как это видно из опыта под Москвой, проведенного Институтом по удобрениям в 1925 г.

Точно так же в Средней Азии выгодно удобрять не только хлопчатник, но все орошаемые культуры; там мы имеем богатые возможности добиться достаточного для нас сбора волокна и в то же время сократить потребность в привозном хлебе путем поднятия местных урожаев при помощи минеральных удобрений.

Совсем иначе обстоит дело в производящей полосе, где цены на рожь и овес вдвое ниже цен на азотистые удобрения; там можно пока рассчитывать на внесение удобрений *преимущественно под технические культуры*, т. е. на весьма ограниченной площади (кроме внесения фосфоритной муки под рожь в ЦЧО, но фосфоритная мука не входит в число продуктов химической промышленности в буквальном смысле слова).

Таким образом, в настоящее время *в нечерноземной полосе и для расширения культуры на новые площади и для поднятия урожаев на старопахотных землях соотношения цен на удобрения и на зерно более благоприятны, чем для производящей полосы.*

Таким образом, если мы возьмем площадь посевов потребляющей полосы, причисляя к ней и Среднюю Азию, а из площади производящей полосы учтем только технические культуры, и если около 20—25% нашей посевной площади при этом будут подлежать удобрению по-настоящему, то ведь это значит, что мы, на части нашей посевной площади, равной всей германской (т. е. 25 млн. га), будем применять те же 8 млн. т, какие применяет Германия; а на остальной площади не будем их применять вследствие нерентабельности (а местами и вследствие полной пока ненужности — крайний юго-восток, Казахстан).

Итак, пятилетний план согласован с имеющимся теперь распределением посевов и нашей современной экономикой.

Но обратимся теперь к другой стороне вопроса.

Сам по себе низкий урожай с гектара еще ничего не означает, если посевная площадь велика. Так, Аргентина имеет такие же низкие урожаи, как и мы, однако ее зерновая продукция по расчету на каждого жителя в стране в 2,5 раза больше нашей в связи с размером посевной площади, приходящейся на каждого жителя; мы же имеем не только низкие урожаи, но и малую посевную площадь, и потому наша продукция всегда была низка. Сравнение зерновой продукции (включая овес, ячмень и кукурузу) на душу населения для периода 1908—1913 гг. дано на стр. 474, где видно, что *довоенная Россия должна была бы в сущности ввозить, а не вывозить хлеб, если бы наше крестьянство не вегетарианствовало,* а употребляло бы само часть хлеба на откорм свиней вместо того, чтобы этот хлеб шел на откорм животных в Дании и Германии.

Однако необходимо дополнить, что наша посевная площадь недостаточна по сравнению не только с посевной площадью Америки, но *и со многими странами Европы*; особенно это становится ясным, если мы возьмем не все население, а только занимающееся сельским хозяйством; тогда посевная площадь на каждую душу этого населения составит следующие величины (в гектарах): в Соединенных Штатах — 5, Дании — 3, Франции — 1,5, в СССР в целом — 0,9, в Северной Украине — 0,6, Индии — 0,5.

Таким образом, от довоенной России мы унаследовали необычную в Европе и Америке комбинацию средневекового уровня урожаев с резко выраженным сельским перенаселением. с измельчанием наделов, местами

напоминающим Индию, и это при таком резерве нераспаханных земель, каким не обладает ни одно государство ни в Европе, ни в Азии.

На малых наделах, едва обеспечивающих продовольствие, нельзя развить животноводство, а отсюда главные беды нашей деревни: скрытая безработица в течение большей части года у 120-миллионного крестьянского населения и низкий уровень его благосостояния.

Если площадь, которую способно обработать крестьянское население, даже не пользующееся тракторами, составляет 3 га на душу (как показывает опыт Дании), то для работ на нашей посевной площади в 110 млн. га достаточно в сущности иметь 37 млн. крестьянского населения. А если представить, что мы при помощи коллективного использования тракторов и других машин доведем механизацию до среднего уровня [механизации] Соединенных Штатов, где на 130 млн. га посевной площади занято 27 млн. фермеров с их семьями и рабочими, то нам для современной посевной площади будет достаточно иметь только 21 млн. крестьянского населения, *если только не возрастет одновременно интенсивность культуры.*

Поэтому занять избыточные руки нужно прежде всего путем устранения главной несообразности в организации нашего земледелия, состоящей в том, что посевная площадь на душу не достигает у нас и одного гектара, когда она может при данном состоянии техники земледелия быть втрое больше (а при механизации может быть увеличена в 5 раз и более). Ведь это значит, что *теперь у 120 млн. населения* $^{2}/_{3}$ *сельскохозяйственного рабочего времени не заполнено.* Такую расточительность сил населения при низком уровне благосостояния допускать невозможно. И как раз движение в сторону расширения культурной площади для нас гораздо более возможно, чем для всех наших соседей не только на Западе, но и на Востоке. Наша посевная площадь составляет только 5% всей площади Союза, даже в европейской части она составляет всего лишь 25%, тогда как в Германии, Франции, Голландии, Дании она равна 55—80% площади страны. Остановимся далее на вопросе: в каком районе важнее всего расширить культуру?

Если прежде расширение наших посевов шло к югу и юго-востоку, в сторону земель, не требующих удобрения, то теперь наибольший интерес представляет другое направление в расширении культурной площади, связанное с новым фактором — химизацией земледелия.

Нужно сказать, что до сих пор история нашего земледелия была историей освоения черноземных пространств, не требующих ни удобрения, ни предварительных работ по корчевке леса. Крестьянство устремлялось в степи, где можно сразу, подняв новь, посеять пшеницу, и оставляло почти нетронутыми лесные пространства. Это было вполне естественно, ибо, пока были незанятые черноземные пространства, не стоило производить затраты на улучшение подзолистых почв даже центрально-промышленной области, не говоря [уже] о наших северных губерниях и о таежных пространствах Сибири; так сложилось, что чуть ли не 80—85%

нашей посевной площади приходится на черноземную полосу и только около 15—20% — на нечерноземные губернии. Но дальше это продолжаться не может: в погоне за даровым плодородием мы оставили почти без культуры области, не знающие засухи, и не только заняли область сухого земледелия, но начинаем распахивать земли в областях, где земледелие является заведомо азартной игрой и где валовой урожай подвергнут риску слишком больших колебаний от засух на юго-востоке, как показывает печальный опыт 1891, 1911 и 1921 гг.

Теперь предстоит обратить внимание на тот климатический район и на те почвы, на которых Западная Европа исключительно построила свое интенсивное хозяйство, а именно *на нечернозем, не знающий засухи* и способный при удобрении давать устойчивые урожаи 30 ц зерна с гектара, как это доказано длительными опытами профессора А. Г. Дояренко.

В частности, Московская губерния, лежащая на одной широте с Данией, имеет все условия, чтобы развить хозяйство, подобное датскому; но теперь в Московской губернии приходится около 0,5 га посевной площади на крестьянскую душу, а в Дании — 3 га! И это только потому, что в Дании посевная площадь составляет 70% площади страны, а в Московской губернии на нее не приходится и 20% площади; в смежных же губерниях (Костромской, Ярославской) — всего 12—15%. Тип хозяйства, конечно, должен быть в этом районе животноводческим, но не забудем, что такая ультраживотноводческая страна, как Дания, имеющая только 45% посевной площади под хлебами (40% под травами и 15% под корнеплодами), производит благодаря высоким урожаям чуть ли не вдвое больше зерна на душу всего населения, чем мы, страна, отводящая чуть не 90% под зерновые культуры.

Если прежде недостаток навоза не позволял в нечерноземной полосе расширить посевную площадь, то теперь химическая промышленность дает возможность без навоза обращать даже самые плохие, «бросовые» земли в культурное состояние.

Так, в Дании, которая по площади равна одной только Московской губернии, ежегодно обращается в культуру 15—20 тыс. га беднейших вересковых пустошей, на которых даже сосна не растет. После известкования и внесения минеральных удобрений получаются земли, способные давать не только рожь и клевер, но и корнеплоды. Эта внутренняя колонизация идет двумя путями: или оказывается кредит отдельным крестьянам, или скупается значительная площадь пустырей, и после приведения ее в культурное состояние привлекаются переселенцы (из сельскохозяйственных рабочих), получающие надел в 10 га и постройки в кредит с выплатой по очень дешевым процентам. В Голландии поступают еще решительнее: такие «гиблые места», как выработанные торфяники, после отвода воды и известкования заправляют громадными дозами минеральных удобрений (35 ц на 1 га) и через год переходят к урожаям ржи в 30 ц и картофеля в 600 ц с 1 га. Но нам даже нет нужды браться за столь бедные почвы: у нас масса неиспользованных площадей с поч-

вой гораздо лучшего качества, где с небольшим количеством удобрений можно получить хорошие результаты. В этом направлении химизация земледелия открывает перед нами совершенно новые и чрезвычайно обширные перспективы.

Кроме устранения крупнейшего дефекта организации труда нашего земледельческого населения, расширение культуры в нечерноземной полосе имеет еще громадное значение с другой точки зрения: юго-восточная четверть европейской части Союза, в которую устремилось крестьянское земледелие в погоне за даровым плодородием чернозема, подвержена резким колебаниям климата, а вместе с тем и колебаниям урожая; достаточно вспомнить, что в такие годы, как 1891, 1911 и 1921, может выпадать четверть валового урожая, т. е. 16 600 тыс. т зерна, и тогда подвергаются опасности миллионы человеческих жизней.

Чтобы быть застрахованным от тяжких последствий подобной засухи, необходимо создавать лишний миллиард пудов зерна (около 17 млн. т) в полосе, не знающей засух, т. е. в нечерноземной полосе; не с тем, конечно, чтобы хранить его мертвым запасом, а направлять в благополучные годы больше зерна на экспорт и на откорм животных, а в случае нужды не только прекращать экспорт, но и воспрещать откорм свиней, как это сделала Германия в 1915 г.

Итак, и неотложная задача страхования от неурожаев на юго-востоке, и планомерный подход к правильной организации труда земледельческого населения заставляют нас обратить гораздо больше внимания, чем до сих пор это делалось, на земледелие в нечерноземной полосе. К тому же побуждает география хлебных цен, позволяющая широко применить приемы химизации земледелия именно в той полосе, которая до сих пор была потребляющей, но хозяйство которой в состоянии, не вступая в противоречие с развитием животноводства, одновременно снабжать свое население хлебом и тем самым освобождать соответственное количество южного хлеба для экспорта. *Тогда погодные колебания нашего валового урожая будут сказываться только на экспорте,* а не ставить под удар элементарнейшую потребность населения в хлебе насущном. *Громадные резервы теперь неиспользованной живой силы многомиллионных крестьянских масс могут стать источником нашей экономической мощи* вместо того, чтобы быть нашим больным местом и нуждаться в прокормлении за счет государства каждый раз, когда засуха захватывает значительную часть черноземной полосы. *Тогда не только поднимется благосостояние самого крестьянства, но земледелие станет обильным источником средств для быстрого развития промышленности в нашей стране.*

РАСШИРЕНИЕ ПОСЕВНОЙ ПЛОЩАДИ В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЛОСЕ В СВЯЗИ С ЗАДАЧЕЙ ПОЛУЧЕНИЯ[37] В СССР ВЫСОКИХ И УСТОЙЧИВЫХ УРОЖАЕВ *

Наша страна обладает широкой возможностью расположить свою посевную площадь в разных климатических зонах и таким образом придать урожаям гораздо большую устойчивость, чем это было до сих пор, когда мы имели дело с очень большими колебаниями урожаев. Происходило это вследствие того, что основная часть посевов находится в полосе недостаточного увлажнения, а главное — периодически посещаемой резкими засухами, которые в сильной степени затрудняют планирование. Следует иметь противовес этим колебаниям в виде посевных площадей, находящихся в противоположных климатических условиях. Чтобы иллюстрировать эту крайнюю неравномерность распределения земледельческой культуры по площади Союза, достаточно сказать, что из общей суммы пашни $^4/_5$ (около 82%) приходятся на зону, подверженную засухам (чернозем и каштановые земли), и меньше $^1/_5$ (18%) приходится на полосу достаточного увлажнения, т. е. зону подзолистых почв. Так как общая площадь подзолистых почв гораздо больше, чем площадь черноземов, то по степени распаханности эти две зоны резко отличаются одна от другой. Если даже не говорить о Северном крае и Сибири, а ограничиться зоной между 50-й и 60-й параллелями в европейской части Союза, то все же мы можем встретить такие контрасты, как, например, 12% посевной площади на широте Костромы и Ярославля и свыше 90% распаханных земель в районе Курска.

Мне не раз после революции приходилось выступать с планами значительного расширения земледелия на севере. Первая серия моих выступлений по этому вопросу относится к 1918—1920 гг. Правда, тогда поводом служила еще не борьба с колебаниями урожаев вследствие засухи на юго-востоке, а борьба с недостатком продовольствия на севере, вызванным условиями гражданской войны. Москва была отрезана не только от Украины, вследствие оккупации войсками кайзеровской Германии, но и от Поволжья, из-за разрухи транспорта. Но, несмотря на совершенно изменившиеся условия жизни в нашей стране, те мероприятия, на которых я настаивал тогда, сохраняют большую часть своего значения **. Так, я отмечал, что в тогдашней Московской губернии, лежащей на од-

---

* Печатается с сокращениями по тексту, опубликованному в кн. «Вопросы окультуривания вновь осваиваемых земель». М., Сельхозгиз, 1939, стр. 5.

** Центральным из моих выступлений того времени является брошюра «Поднятие земледелия на севере как средство облегчить кризис продовольствия и транспорта» (1920).

ной широте с Данией, посевы занимали всего лишь 15% общей площади губернии, а в Дании — 75%, и что если нам нет нужды идти так далеко, как это сделано в Дании, то нам было бы не так уж трудно удвоить посевную площадь, оставаясь в пределе суглинистых и супесчаных почв, не очень бедных по природе, и улучшая их с помощью культуры клевера и удобрения фосфоритной мукой. И если уж при 15% посевной площади (в том числе 4% площади под рожью) крестьянину Московской губернии хватало своего хлеба на полгода, то при удвоении посевной площади он был бы обеспечен своим хлебом на целый год.

Но так как расширение культурной площади требует времени и снабжения удобрениями (по крайней мере фосфоритной мукой), а в тот период требовались неотложные мероприятия, то, кроме возможного расширения посевов в Московской и окружающих ее губерниях, я предложил более быстрый способ увеличения продовольственных ресурсов на севере; я особенно настаивал на поднятии продуктивности уже имеющейся пахотной площади при том же количестве удобрений, какое было налицо; это возможно было сделать путем увеличения площади под растениями более продуктивными, чем рожь. Таким является такое давно известное, но недостаточно использованное у нас растение, как картофель, способный расти на тех же почвах, что и рожь, но по продукции сухого вещества превосходящий рожь почти в три раза [3*]. Так как ржи должен предшествовать пар, то вместо комбинации «пар—рожь» можно взять два урожая картофеля. Это уже означало бы повышение продукции сухого вещества на той же площади по крайней мере в пять с половиной раз.

Но против такого увеличения посевов картофеля можно сделать возражение, что при этом понижается процент белков в пище и повышается процент углеводов (в картофеле отношение азотистых веществ к безазотистым ближе к рису, чем ко ржи). Поэтому я предлагал заменять (в продовольственной части севооборота) комбинации «пар—рожь» сочетанием двух культур, а именно «картофель—горох».

Тогда подсчет относительной продуктивности такого звена, по сравнению с комбинацией «пар—рожь», получает следующий вид:

	«пар — рожь»	«картофель — горох»
Общая продукция сухого вещества за 2 года (в относительных цифрах)	1	3,7
Продукция азотистых веществ	1	4,3

[3*] Поэтому моя брошюра 1920 г. имела в качестве эпиграфа видоизменение известного, излюбленного Тимирязевым девиза о получении двух колосьев там, где раньше рос один, в сторону еще большего повышения задания, а именно «возделывать картофель на полях — это то же, что получить три колоса там, где раньше рос один». Этот коэффициент 3 (точнее 2,85) подсчитывался следующим простым способом: урожай сырых клубней в 10 раз превышает урожай зерна ржи (8 т против 8 ц при низком уровне культуры, 18 т против 18 ц при повышенном уровне урожаев); но картофель содержит около 25% сухого вещества, а зерна ржи 87%, или в 3,5 раз больше, поэтому абсолютный урожай сухого вещества в случае картофеля превышает урожай ржи не в 10 раз, а в 2,85, или почти в три раза.

Таким образом эта комбинация (картофель — горох) позволяет сильно поднять общую продукцию сухого вещества, не только не снижая, а даже повышая отношение азотистых веществ к безазотистым.

В том же 1920 г. я сделал подсчет, какую площадь нужно занять под Москвой картофелем, чтобы совсем избежать перевозки картофеля на дальнее расстояние и обильно снабдить им все население города. Оказалось, что эта площадь вовсе не является такой большой, если культуру картофеля поставить на должную высоту, а именно: чтобы снабдить население Москвы (тогда полтора миллиона) таким пайком, как один килограмм картофеля на каждого жителя ежедневно, достаточно площади в 25000 га, или 0,8% площади губернии (если иметь урожаи, какие получились на ферме бывшей Петровской академии), или при обычных тогда крестьянских урожаях — втрое большей площади.

Отчасти можно сказать, что мои тогдашние пожелания теперь исполнились, так как площадь под картофелем у нас сильно возросла, однако расширение этой площади все-таки оставляет желать лучшего, именно: не соблюдается правило возделывать картофель там, где он потребляется, поэтому картофель продолжают возить на дальние расстояния, за 700 км и более (так, в Ленинград везут из Ярославля и северной Белоруссии, из Курской области и Украины везут не только в центры, но и на Урал и даже в Баку).

Между тем все преимущества культуры картофеля, о которых говорилось выше, сохраняются только при культуре его на местах потребления и теряются при дальних перевозках, для которых пригодно зерно, а не картофель.

У нас обычно не замечают главной причины непригодности картофеля для дальнего транспорта и видят зло только в том, что при этом картофель подвергается порче от замерзания и загнивания. Но если бы картофель совсем не портился в пути, все-таки дальние его перевозки были абсурдом, так как возить материал с 75% воды и 25% сухого вещества — это все равно, что обязать железную дорогу вместе с каждой тонной зерна перевозить одновременно три тонны воды.

Если теперь не только опыты Хибинской станции, но и успех крупного совхоза «Индустрия» доказали, что даже за полярным кругом возможно снабжение населенных центров местным картофелем, то ясно, что для Москвы, Ленинграда, уральских и иных промышленных центров это тем более возможно (для южных центров, как Баку, картофель должен быть в значительной мере заменен земляной грушей и бататами).

Теперь кладется предел этому злу — перевозкам картофеля на большие расстояния, так как правительственным распоряжением перевозки картофеля на большие расстояния, начиная с 1939 г., воспрещаются.

Настаивая на расширении культуры картофеля на севере, как на самом быстром способе увеличения ресурсов продовольствия, я в то же время подчеркивал невозможность дольше оставаться на том средневековом уровне урожаев, на котором революция застала наше земледелие.

Но при отсутствии в то время у нас химической промышленности мне приходилось говорить преимущественно о таких источниках удобрений, которые могут быть введены непосредственно в сельском хозяйстве, как, например, азот бобовых и азот торфа. Поэтому я настаивал на том, чтобы сильно расширена была культура клевера, и далее — чтобы была развита на «неклеверных» почвах культура такого мощного азотособирателя, как люпин, для чего мы имеем широкие возможности, благодаря наличности у нас (в отличие от Западной Европы) громадных пространств незанятых паров. Удачные результаты опытов Черниговского земства, а с 1918 г.— углубленная работа Новозыбковской станции показали, что не только для песчаных почв, но и для суглинков культура люпина в пару вполне способна заменить в нашей средней полосе навозное удобрение; но для севера с его коротким летом обычный синий люпин является недостаточно скороспелым растением, и его семена при культуре на зеленое удобрение приходится привозить из районов, лежащих южнее. Поэтому я стал думать о других видах люпинов, предполагая найти среди них озимые формы, которые способны были бы давать зрелые семена и на севере. Пришлось остановиться на многолетнем люпине (L. polyphyllus), которому была посвящена моя брошюра 1919 г. и о котором я не раз писал в последующие годы в связи с вопросом об азотном балансе в нашем земледелии. Этот люпин может сыграть существенную роль при расширении культуры на севере. Если им засевать свободные площади с малоплодородными легкими почвами, то за несколько лет произрастания этот люпин существенно изменит свойства почвы, обогатит ее органическим веществом — азотом за счет воздуха и фосфором за счет подпочвы; в то же время скашиваемая ежегодно зеленая масса даст обильное удобрение для паровых полей (если же поле предварительно удобрить калием и фосфором, то этот вид люпина способен давать в лето два укоса даже под Ленинградом; тогда второй укос запахивается при осенней вспашке под яровые).

Наблюдения над этой формой люпина, кроме Петровско-Разумовского, были проведены на Московской областной станции, на Долгопрудном опытном поле (НИУ), теперь они ведутся на Новозыбковской, Соликамской и Уральской льняной опытных станциях. До сих пор не устранено главное препятствие к его распространению,— недостаток семян, еще больше выраженный, чем для однолетнего люпина [4*].

[4*] Своеобразно, что первую порцию семян многолетнего люпина я получил в 1918 г. из хозяйства, в котором никто этого растения в поле не высевал, а именно из Майдаровской с.-х. школы (близ ст. Поворова, Октябрьской ж. д.). Там этот люпин размножился самосевом и стал распространяться на пашне, прилегающей к парку, где когда-то он был посеян в качестве декоративного растения. Такие же факты легкой приспособляемости этого растения к нашим условиям наблюдались и в других местах (например, под Костромой, Ленинградом и даже Архангельском). Все это показывает, что ввести это растение в культуру у нас нетрудно; что же касается семян, то здесь поучителен пример Западной Европы, где семена этого люпина полу-

При устранении этого препятствия многолетний люпин может сыграть большую роль при обращении в культуру пустошей, роль дешевого мелиоратора обширных площадей песчаных и супесчаных почв нашего севера. Задача расширения посевов люпина в нечерноземной полосе сохраняет все свое значение и теперь, несмотря на создание азотной промышленности. Подробнее мы остановимся на этом ниже, при сопоставлении относительного значения азота «технического» и азота «биологического» в хозяйстве нашей страны.

Кроме азотособирателей я в те же годы много уделял внимания другому источнику азота, важному для северного земледелия, это — азот торфа. При этом я имел в виду не замену соломы торфом (что интересно преимущественно для пригородных хозяйств), а дополнительное введение в подстилку торфа (кроме соломы) в целях увеличения количества и улучшения качества навоза, прежде всего обогащения его азотом. Первые опыты с торфяным навозом проведены были Якушкиным, Константиновым и другими сотрудниками, причем было показано, что торфяной навоз богаче обыкновенного не только по валовому содержанию азота, но что он богаче и усвояемым азотом.

Прежде нередко высказывали мнение, будто при применении торфа на подстилку азот самого торфа имеет мало значения, что главная роль торфа есть роль поглотителя аммиака из навозной жижи. Но ряд опытов, проведенных в нашей лаборатории, показал, что это не так: помимо превосходного консервирования самых ценных составных частей экскрементов, еще и азот самого торфа вводится в круговорот веществ хозяйства и принимает участие в питании растений.

Помимо опытной работы с торфом и популяризации результатов (в статьях, в предисловиях к брошюрам о торфе других авторов, как Бирюзов, Купреенок, Бахулин) я предпринял специальную поездку в район типичного торфяно-навозного хозяйства — в Шенкурский район Архангельской области. Среди громадных пространств песчаных почв этого района распределены оазисы земледельческой культуры с высокими урожаями, несмотря на малое количество скота из-за недостатка кормов. Эти оазисы связаны с нахождением торфяных залежей по соседству с пашней. Обильным применением торфа в подстилку (с прикрытием его соломой) шенкурские крестьяне достигали крупного увеличения количества навоза, получаемого от каждой головы скота. Можно сказать, что они готовят торфяно-навозный компост от каждой головы скота и с помощью его получают высокие урожаи. Если спросить, каков главный ис-

---

чаются попутно в лесничествах, применяющих посев многолетнего люпина в междурядьях при разведении сосновых лесов в целях усиления роста и улучшения качества древесины сосны (сосна с подсевом люпина достигает в 20 лет размеров, достигаемых без люпина в 30 лет, причем, кроме того, получается еще значительный выигрыш на качестве древесины). Если семена многолетнего люпина таким образом получаются попутно, то он является почти даровым мелиоратором легких подзолистых почв.

точник азота в том хлебе, каким питался шенкурский крестьянин в тех местах, где нет заливных лугов, то придется ответить, что это прежде всего азот торфа, в обилии поступающий на поля. Недостаток фосфора удобно восполнить путем закладки торфяных компостов с введением фосфоритной муки.

Все сказанное тогда о значении торфа в азотном балансе теперь приобрело еще большее значение, притом не только в связи с задачей поднятия урожаев, но и в связи с возможностью широкого использования отходов торфодобывания, которое развивалось у нас в таких размерах, как ни в одной другой стране. При производстве торфяного топлива получается большое количество сфагнума, представляющего ценный подстилочный материал; затем торфяная мелочь может служить для поглощения жижи, да и самый прессованный торф можно укладывать на скотном дворе на пол, с тем чтобы в комбинации с соломенной подстилкой лучше достигать той же цели — поглощения жижи. Большее значение получают набивка выгребных ям торфом и приготовление торфофекальных удобрений (в целях повышения санитарии в деревне).

Относительно фосфора и калия мы теперь находимся в гораздо лучшем положении, чем в 1918—1920 гг. Но все-таки то, что тогда мне пришлось говорить о фосфоритной муке, сохраняет свое значение. Правда, мы имеем теперь крупную суперфосфатную промышленность, которой тогда не было, но при громадных посевных площадях эта промышленность не может обеспечить целиком культуры хлебов и клевера в зоне подзолистых почв. Это можно сделать, не обременяя химической промышленности, с помощью простого размола низкопроцентных фосфоритов, не идущих в химическую переработку. И теперь, на другом этапе развития, все еще приходится указывать как на недостаточность разведки фосфоритов, так и на недостаточную продуктивность рудников и недостаточную мощность размольных установок для должного снабжения фосфоритной мукой подзолистой полосы и зоны деградированных черноземов. Для последней зоны работами А. Н. Лебедянцева на Шатиловской станции доказана возможность получения приростов урожая в 5 ц зерна при применении в паровом поле одной только фосфоритной муки, без внесения азота и калия. Точно так же развитие калийной промышленности не отменяет проблемы использования золы, которой посвящена была моя статья 1919 г. («Непризнанный Стассфурт»), а вопрос об известковании, поднятый нами в том же 1919 г., приобретает еще большее значение при развитии земледелия на севере в связи с массовым применением на удобрение физиологически кислых солей.

Но если в период с 1918 по 1920 г. нам могли сказать, что вопрос о продвижении земледелия на север вызван причинами, носящими временный характер, то 1921 г. с сильной засухой выявил, что помимо временных причин есть и постоянно действующие, заставляющие стремиться к более равномерному распределению посевов по различным климатическим зонам, чем это имело (место) в дореволюционный период.

Теперь особенно уместно еще раз отметить то, на чем я и тогда настаивал: при всем громадном значении повышенной агротехники, позволяющей получить в засушливых местностях более высокие средние урожаи против прежнего примитивного крестьянского хозяйства, все-таки в такие крайние годы, как 1891 и 1921, она не устраняет резких колебаний этого урожая. Борьба с засухой основывалась на задержании и сбережении зимней (и осенней) влаги, но в неурожайные годы засуха этого типа начинается с осени, зима проходит без осадков, поэтому и сберегать нечего, и все меры снегозадержания и улучшения обработки в такие исключительные годы не достигают своей цели.

Вследствие периодических неурожаев из-за засухи многолетнее среднее для черноземного юго-востока оказывается менее благоприятным, чем для северных подзолов; так, за период 1890—1910 гг. урожаи на крестьянских землях в среднем составляли:

	в ц/га		в ц/га
Нижняя Волга	4,5	Приозерный край	7,5
Средняя Волга	6	Северный край	6,9

Местами урожаи при хорошем удобрении были еще выше (Шенкурский уезд). При более совершенной культуре и регулярном применении удобрений под Москвой получаются очень высокие и постоянные урожаи, как показала ферма Петровской академии еще в 90-х годах, достигшая уровня 21 ц на гектар, и особенно опытное поле той же академии, получавшее регулярно 32—33 ц ржи на гектар, что превосходит средний уровень датских урожаев. Колебания урожаев в нечерноземной полосе меньше, чем на юго-востоке: они считаются равными в среднем 10%, а на юге в среднем — 40% (но что за утешение выводить среднее, если крайние колебания на юго-востоке иногда равнялись 100%). Самое важное то, что урожаи на северных подзолах гораздо лучше поддаются планированию с помощью соответственного дозирования удобрений, а на юго-востоке удобрения не оказывают того эффекта, как на севере. Конечно, на юго-востоке орошение может сделать урожаи высокими и устойчивыми, но при всем громадном местном значении орошения оно не может достигать тех размеров, в каких необходимо предпринимать государственные мероприятия для придания устойчивости урожая. Так, орошение даже 4 млн. га не может быть противопоставлено крайней засухе, охватывающей 40 млн. га; но наряду с расширением орошения вполне возможно создать в полосе достаточного увлажнения посевную площадь в 30—40 млн. га для компенсации влияния засухи.

Все эти соображения были мной изложены Госплану еще в 1922 г., когда я предложил связать проблему расширения земледелия на севере с поднятием животноводства в Союзе [5*].

Этот план, развитый мной в 1922 г., я считаю сохраняющим значение и теперь. Он нашел частичное осуществление при последующих меро-

[5*] См. также мою статью в газете «Сельскохозяйственная жизнь», за 1923 г.

приятиях по поднятию животноводства на севере и по превращению потребляющей полосы в производящую, но для целей страхования урожая предстоит идти по намеченному пути гораздо дальше.

С первого взгляда может казаться, что есть известное противоречие между задачей поднятия животноводства и превращением потребляющей полосы в производящую (по зерну). Но пример Дании показывает, что это не так: имея 55% посевной площади под кормовыми растениями (из них 35% под клеверными смесями и 20% под корнеплодами), Дания все-таки производит больше зерна на душу населения, чем производили мы, потому что благодаря сильно развитой кормовой площади Дания имеет столько навоза, сколько не имеет ни одна страна в Европе, и средний урожай за десятилетие у нее достигал 28 ц. Кроме того, сокращение процента площади под хлебами в животноводческом хозяйстве Дании привело к крупному повышению урожаев с гектара на оставшейся части площади; далее, там имело место еще значительное расширение площади (главным образом за счет вересковых пустошей в Ютландии), благодаря чему Дания имеет не меньше (скорее несколько больше) посевной площади на душу населения, чем мы (а именно: в Дании 0,9 га, у нас — 0,8) [6*].

Нам нужно не только поднимать урожай, но, по мере того как мы будем справляться с этой задачей, предстоит переходить к расширению посевной площади, если хотим, чтобы производительность труда сельского населения была у нас не ниже, чем, например, в Соединенных Штатах Америки, где на каждого сельского жителя приходится 5 га посевной площади [7*].

Но если организационные соображения говорят за расширение в будущем посевной площади, то мы опять приходим к тому, чтобы расширять ее преимущественно в нечерноземной полосе, так как только она обладает практически неограниченным (на предвиденное время) резервом пригодных для культуры земель, притом расположенных в полосе достаточного увлажнения.

Кроме этого рода соображений, нам в последнее время приходилось останавливать внимание еще на одном важном вопросе, главный путь разрешения которого также совпадает с продвижением земледелия в область подзолистых почв,— мы разумеем вопрос об азотном балансе в нашем земледелии. Для правильного разрешения его необходимо развивать культуру клевера в гораздо большей мере, чем это имело место до

[6*] Считая 136 млн. га посевов и 170 млн. населения в Союзе.

[7*] Конечно, приведение к нормальному отношению между засеваемой площадью и количеством жителей, занимающихся земледелием, может идти двумя путями: кроме расширения площади возможно перемещение части сельского населения в города и на фабрики. Но при самых широких предположениях о поглощении городами и промышленностью не только трех миллионов ежегодного прироста нашего населения, но и значительной части основной массы (125 млн.) современного населения деревни, все-таки нагрузка в 5 га на каждого сельского жителя будет означать значительное расширение посевной площади.

сих пор, а сделать это возможно и наиболее нужно именно в районе подзолистых почв. Без этого мероприятия нельзя устранить того дефицита в нашем азотном балансе, который имеет теперь место.

Дело в том, что общий вынос азота с современными урожаями достигает 5 млн. т (точнее, 4,9 по расчету 1937 г.); между тем с навозом возвращается только около одной пятой части этого количества (в 1936 г. было вывезено 187 млн. т навоза, или 935 тыс. т азота); площадь под клевером у нас ничтожно мала: взятая вместе с люцерной, она едва достигает 4% нашей посевной площади, в то время как во Франции и Италии она равна 20%, в Дании 35% и даже в Германии она все же равна 10% общей площади посевов. Азотная промышленность нигде не является главной статьей прихода в азотном балансе, и в Германии, стране с наиболее развитой химической промышленностью, промышленность возмещает лишь 22,5% всего количества азота, уносимого урожаями, тогда как с навозом и пожнивными остатками клевера возвращается больше половины азота урожаев.

У нас только часть азота урожаев возвращается с удобрениями, а остальной азот заимствуется ежегодно из запасов азота в почве. Если бы перед нами стояла задача только стабилизации наших урожаев на современной высоте, то и тогда нельзя было бы успокаиваться на покрытии дефицита питательных веществ за счет почвенного плодородия; но мы должны заставить кривую урожайности идти вверх, а повышение урожаев означает и повышение выноса питательных веществ из почвы. В какой мере предстоит нам иметь дело с этим повышением выноса азота, фосфора и калия, показывают следующие цифры (в основу положены расчеты ВИУАА):

	Вынос (с площади 140 млн. га)		
	N	P_2O_5 в тыс. т	K_2O
1937 г. (при урожае 10 ц)	4904	1846	4310
1939 г. (при урожае 13 ц)	6440	2515	5865
1942 г. (при урожае 15 ц)	7275	2753	6422
1942 г. (при урожае 18 ц)	8517	3220	7509

Если мы остановимся на более скромном задании [8*] — поднять урожаи 1942 г. лишь до 15 ц на гектар, то и тогда сведение азотного баланса представит большие трудности, именно: необходимо, как минимум, поднять площадь клеверов до 12 млн. га (вместо современных 4 млн. га); тогда эта площадь может дать прирост (при условии, что клевер получит

[8*] Однако выполнение этого задания обеспечило бы нам валовой сбор в 156 млн. т, что вполне удовлетворит потребности населения Союза, которое должно к тому времени достигнуть численности в 186 млн. человек.

фосфаты и калийные соли) около двух миллионов тонн азота, из которых один миллион перейдет в состав навоза вместе с кормом, а другой будет содержаться в корневых остатках клевера; при соответственном напряжении всех других статей прихода по азоту (а также фосфору и калию) получим для 1942 г. такой примерный баланс:

Баланс 1942 г. (в тыс. т)

	N	P_2O_5	K_2O
Вынос	7275	2753	6422
Возвращение			
промышленное удобрение, навоз, отбросы	4100	2753	3450
клеверные поля	1000	–	–
зернобобовые	300	–	–
Итого: возвращение	5400	2753	3450
дефицит	1875	0	2972

При большом напряжении по линии промышленности по всем статьям все же получается дефицит по азоту в 1875 тыс. т.

Однако теперь, когда Наркомзем планирует развитие травосеяния в широком масштабе, можно ставить задачу дальнейшего снижения размеров этого дефицита, путем еще большего расширения клеверосеяния в северной части Союза.

Точно так же для калия мы допускаем дефицит в 20—25 кг K_2O на гектар (хотя нужно сказать, что калийная промышленность легче может быть развита соответственно потребностям, чем азотная и фосфатная).

По фосфору мы должны сводить баланс без дефицита, так как опыт Западной Европы показывает, что фосфор необходимо возвращать полностью, если хотим, чтобы кривая урожайности пошла вверх. Принимая во внимание трудности целиком покрыть всю потребность в фосфоре за счет продуктов химической переработки [9*], мы допускаем значительное участие фосфоритной муки, сообразно с значительной площадью культуры в северной половине Союза, т. е. в области подзолистых почв и деградированных черноземов, на которых возможно прямое применение фосфоритной муки.

Итак, и задача страхования нашего валового сбора хлебов от колебаний, вызываемых засухой на юго-востоке, и задача правильной организа-

[9*] Заметим, однако, что теперь задача поднятия суперфосфатной промышленности существенно облегчена недавним (1937 г.) открытием мощных залежей высокопроцентных фосфоритов в Средней Азии, вблизи от железнодорожных путей, в непосредственной близости от центров культуры хлопчатника.

ции труда сельского населения, и проблема благополучного сведе́ния нашего азотного и фосфорного баланса — все это говорит за расширение нашего земледелия к северу от границы чернозема, в сторону оподзоленных лесных почв, лежащих в полосе достаточного увлажнения.

Но насколько именно нужно и до какой степени возможно для нас расширение пашни в нечерноземной полосе? Нетрудно убедиться, что наши возможности далеко превышают потребности не только настоящего, но и сколько-нибудь предвидимого будущего времени. Так, предположим, что нам понадобится, для компенсации угрозы засухи на площади в 40 млн. га, к имеющейся уже на севере культурной площади прибавить такую же площадь. Не предрешая вопроса о времени, посмотрим только, за счет чего это может быть сделано.

Прежде всего учтем, что из общей площади Союза (21 382 800 км^2) болота занимают 1 500 000 км^2, или 150 млн. га. Можно начать в крупном размере осушать болота (а осушать дешевле, чем орошать, как по основным затратам, так и по расходам эксплуатации) и таким образом получить требуемую площадь.

Но та же цель может быть достигнута с меньшим трудом и без необходимости так далеко заходить на север, как могло завести это односторонне взятое «болотное» направление. А именно: общая площадь лесов в Союзе составляет около 9 380 000 км^2. Правда, из них около 3 200 000 км^2 представляют неудобные для разработки земли, но предположим, что из остальных 6 180 000 км^2 леса мы возьмем под культуру только 5% и то не лесов, а пустырей, числящихся в составе лесов; это составит 309 000 км^2, или 30 900 000 га; если прибавим к этому хотя бы 10% площади болот, то получим возможность расширить культурную площадь на 46 млн. га. Большой интерес представляет такое предложение академика Г. Н. Высоцкого: «Следует выдвинуть идею коррелятивных сетей, т. е. сетей из лесных и полевых (луговых и пр.) полос взаимного влияния. В степных местностях эта идея получила признание издавна, и в наше социалистическое время широкое применение получают насаждения лесных полос для защиты полей от сдувания с них снега, от иссушающих ветров, иногда даже выдувающих посевы, и т. п. Но ту же идею не менее целесообразно было бы применить и в наших обширных лесных областях в виде более или менее широких полевых, луговых и прочих полос, протянутых между более или менее крупными лесными кварталами. Такие широкие (примерно в километр) полосы будут изолировать участки лесных массивов от переброски пожаров, будут удобными при борьбе с вредными насекомыми, улучшат пути транспорта, а с другой стороны, в таких междулесных полевых полосах могут быть найдены условия, более благоприятные для осеверения некоторых более южных культур».

«В степях главные лесокультурные полезащитные полосы проводятся меридионально, с севера на юг, против наиболее вредных ветров восточной четверти горизонта. В тайге же, по-видимому, главными полевыми полосами будут полосы, проводимые с востока на запад (перпендикуляр-

но меридиану). Здесь южные, теневые окраины более пригодны для лугов, выпасов, а северные, освещенные солнцем, более теплые и сухие,— для посевов пшеницы и т. п. По обширным просторам тайги такие сети можно было бы увязать с географическими координатами» [10*].

Может ли лесное хозяйство заметить ущерб от отдачи 5% площади для нужд полеводства? Думаю, что нет, так как рядом мероприятий можно повысить продуктивность остальной площади более чем на 5%.

Вообще нужно отметить, что если взять весь Союз в целом, то мы находимся вовсе не в такой стадии развития, чтобы говорить о конфликте между земледелием и лесоводством; ведь у нас в Союзе посевная площадь составляет ничтожную долю общей: если мы отнесем 140 млн. га посевной площади ко всей площади в 21 382 800 км^2, то получится очень скромная величина — 6,5% посевной площади. Это раз в десять меньше, чем в Западной Европе, и если бы даже нашли нужным удвоить нашу посевную площадь и довести ее до 13%, то мы все-таки отличались бы от Западной Европы громадным процентом площади под лесами.

Итак, для нас нет вопроса, насколько можно расширять земледелие; вопрос в том, насколько и в какие сроки нам нужно его расширять.

Уточнение ответа на такой вопрос требует, конечно, дальнейшей работы; но мы хотим только показать, что имеем полную возможность так спланировать распределение нашей посевной площади в пространстве (по разным климатическим и почвенным зонам), что этим будет облегчено и планирование во времени, ибо валовой сбор хлебов приобретает тогда гораздо бо́льшую устойчивость и ежегодные колебания настолько сократятся, что они будут затрагивать только количество зерна, идущего на откорм животных, а не продовольствие населения Союза, численность которого может свободно возрастать как ввиду громадных резервов площадей, пригодных к культуре, так и широкой возможности поднятия урожаев с единицы площади. Последнее прежде всего возможно в областях достаточного увлажнения, т. е. в нечерноземной полосе, причем главная роль в этом поднятии урожаев принадлежит двум факторам: химической промышленности, с одной стороны, и развитию животноводства (на базе клеверосеяния) — с другой.

Колебания урожаев в зависимости от погоды отдельных лет, конечно, не могут быть устранены совсем, но они могут быть настолько уменьшены, что наша страна не будет отличаться в этом отношении от западных стран с влажным климатом, а главное, средний уровень продукции должен быть так рассчитан, чтобы при наибольшем возможном отклонении вниз от среднего урожая страна все-таки не знала недостатка в продовольствии.

Это мы можем достигнуть, если наряду с использованием чернозема до сих пор столь односторонним, мы придадим и нечерноземной области достаточно крупное значение в будущем развитии нашего земледелия.

[10*] Г. Н. Высоцкий. Материалы по изучению водоохранной и водорегулирующей роли лесов и болот. Изд. ВАСХНИЛ, 1937.

ТРАВОПОЛЬЕ И АГРОХИМИЯ *

Невероятно, но факт: имеются авторы, способные противополагать вопросы почвенной структуры вопросам минерального питания, травополье — химизации и даже биохимию — агрохимии [38].

Так, в одном из докладов, представленных на сессию Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина, автор мечтает о том, чтобы во главу угла третьего пятилетия было поставлено не усиление удобрения почв Союза, а приведение их в структурное состояние путем введения травопольных севооборотов.

На деле же травопольные севообороты, отличающиеся сильным участием злаковых, потребовали бы еще больше удобрений (прежде всего — азотистых), чем плодосменные, для которых характерно участие не азотпотребителей, а азотособирателей.

Также и в проекте Комиссии Наркомзема относительно перестройки севооборотов совершенно правильно говорится о введении севооборотов с многолетними травами (прежде всего клевером и люцерной), а не о травопольных севооборотах (где большую роль играют злаки); между тем в возникшей дискуссии некоторые авторы излагают проект Комиссии так, как будто в нем шла речь именно о травопольных севооборотах, и совершенно упускают из виду тот факт, что севообороты с клевером сближаются больше с плодосменом, чем с травопольем, значение которого ограничено. Поэтому важно устранить путаницу в терминологии, которая создалась в этой области, провести разграничительную черту между благоприятными для азотного баланса плодосменными севооборотами и «антиазотным» травопольем.

Но если для всех очевидно значение полевого травосеяния, то в центре внимания стоит вовсе не злаковое травополье, а севообороты плодосменного типа (или генетически связанные с плодосменом), основанные на чередовании хлебов с клевером (или другими бобовыми) и пропашными культурами; злаковое же травополье с большим процентом площади под травами есть только частный случай, уместный больше в редко населенных засушливых местах, где площадь под хлебами подлежит сокращению (при одновременном ее расширении в зоне достаточного увлажнения).

А если бы травопольные севообороты с большим процентом злаков были поставлены во главу угла третьего пятилетия во всесоюзном масштабе (чего, конечно, не будет), то потребность в удобрениях увеличи-

---

* Печатается по тексту, опубликованному в журнале «Химизация социалистического земледелия», № 9, 1937, стр. 10.

лась бы не только вследствие ухудшения азотного баланса от преобладания злаковых над бобовыми, но также и потому, что травополье сильнее сокращает площадь под хлебами, чем плодосмен, и на переходный период (довольно длительный при травополье) как раз потребовалось бы усиленное применение удобрений, чтобы немедленно компенсировать сокращение площадей быстрым поднятием урожаев.

И далее: если бы даже утверждение о радикальном изменении водных свойств почвы под влиянием только многолетних злаков основывалось не на слепой вере в совершенно недопустимые априорные тезисы ** и не на выдуманных 3*, а действительных фактах, то тогда-то именно и следовало бы сугубо настаивать на увеличении количества удобрений, потому что, чем лучше растения снабжены водой, тем больше у них спрос и на питательные вещества, а голодные растения ведь напрасно расходуют воду, не давая соответственного прироста урожая.

Но в травопольной системе некоторые видят какую-то панацею от всех зол, незаменимую «во все времена и для всех народов», забывая, *что не может существовать одной системы, одинаково пригодной повсюду как* для малонаселенных, так и для густонаселенных районов, например и для животноводческих хозяйств Заволжья и Казахстана, и для свеклосахарных хозяйств северной Украины: если в первом случае уместно экстенсивное травополье, то во втором случае нужны интенсивные плодосменные севообороты. Следует говорить о географическом размещении *разных систем* и связанных с ними севооборотов, в соответствии с общегосударственными интересами и учетом местных естественноисторических и хо-

---

** Например, что «бесструктурная почва не может усвоить больше 15% годового количества атмосферных осадков и половину этого количества растение должно потратить на преобразование сахара (глюкозы) в белки и на уплотнение той же глюкозы в крахмал и жиры; производство поэтому располагает только 7—8% годовых атмосферных осадков на увеличение урожайности».

Здесь не знаешь, чему больше удивляться: абсолютному ли незнанию органической химии (так как на деле при уплотнении глюкозы в крахмал не потребляется, а выделяется вода, это известно студентам из учебников; также обратно действительности сказанное о жирах и белках) или невероятному упрощенству, недопустимому обобщению каких-то случайных цифр (ибо цифра 15% как общая заведомо не годится) и наклонности решать вне времени и пространства все сложные вопросы по какому-то единому надуманному шаблону, идя чисто дедуктивным путем.

3* Таков, например, миф о получении «благодаря хорошей структуре» 62 ц зерна на опытном поле Петровской академии 40 лет назад, тогда как на самом деле в то время (в 90-х годах) получались там урожаи в 22 ц зерна с 1 га, и вовсе не благодаря травополью и структуре, им создаваемой, а исключительно благодаря высоким дозам навоза. Дело в том, что эти урожаи получались как в норфолькском (при 50 т навоза), так и в трехпольном севообороте при регулярном унавоживании всего парового поля 38 т навоза (т. е. для получения только двух урожаев давалось 192 кг N, 80 кг P_2O_5 и 230 кг K_2O). Так как эти урожаи получались в течение длинного ряда лет (а позднее поднялись и до 38 ц), то их можно приводить как доказательство ненужности в данных условиях посева многолетних трав, как фактора непосредственного воздействия на почву при всем их значении, как материала для получения навоза.

зяйственных условий, и оставить мечту о каком-то «философском камне» универсального значения, о *каких-то путях реформирования сельского хозяйства вне времени и пространства.* Кроме неправильной принципиальной установки, крайние защитники всеобщего значения травополья допускают *крупную фактическую ошибку,* утверждая, что в Западной Европе господствует травополье, тогда как там *господствует плодосмен* с преобладанием однолетнего пользования клевером.

Достаточно взять процентные отношения площадей под травами к общей посевной площади, чтобы видеть, что не травополье, а плодосмен преобладает на Западе, например (табл. 1).

Таблица 1

	Германия	Бельгия	Франция	Италия	Дания
Площадь под клевером и клеверными смесями (в %)	10	12	20	20	27

Травополье же на Западе встречается лишь *как исключение,* например в специфических условиях чисто животноводческих хозяйств в Швейцарии, где травы занимают 67% посевной площади и где дело действительно доходит до злакового травополья.

Именно типичным для Швейцарии севооборотом является девятиполье, с тремя годами хлебов (частью пропашных) и *шестью годами трав.* Так как клевера недолговечны, то к ним кроме тимофеевки примешивается ежа; таким образом, на 4-й, 5-й и 6-й год обеспечивается хороший травостой, состоящий целиком из злаков. Сообразно этому, в Швейцарии мы имеем 67% полевой площади под травами и 33% — под хлебами и корнеплодами; основные черты системы удобрений — навоз под первый хлеб, минеральные удобрения и систематическая поливка навозной жижей в период преобладания злаковых, т. е. подкормка азотом травяного клина. Нам же нужен травяной клин, который сам бы служил источником азота для других клиньев.

Однако существенным следствием господства травопольной системы в Швейцарии является то обстоятельство, что ей своего хлеба хватает лишь на четыре месяца (а в Англии — и еще на меньший срок, и тоже в связи с тем, что в западной части Англии ведется животноводческое хозяйство на базе широко развитой культуры злаковых трав).

Итак, ссылка на пример Запада, где будто бы господствует травополье, отпадает — *урожаи подняты там до высоты* в 28 ц с 1 га (в среднем для целых стран) *без участия травополья.*

Точно так же неправильно излагается сторонниками травопольной системы и исторический процесс развития систем хозяйств и смены севооборотов на Западе, а именно они утверждают, будто проповедником плодосмена выступил Либих в 1840 г. На деле движение перехода от трехполья

к плодосмену в Бельгии происходило больше чем за 100 лет до Либиха, а в Германии — за 50 лет; сам Либих выступил не с проповедью, а с резкой критикой плодосмена, утверждая, что никакой плодосмен не спасет Европу от истощения почвы и падения урожаев, что улучшающих почву растений не существует (факт усвоения азота бобовыми не был известен Либиху), что поэтому плодосмен есть только паллиатив, только небольшая отсрочка неизбежного падения урожаев, если не начнут возвращать почве всех минеральных веществ, взятых от нее с урожаем.

Что Либих не имел представления о физиологических особенностях азотособирателей, это естественно; но трудно понять, как через 100 лет после Либиха находятся еще люди, недооценивающие значения плодосмена, хотя роль последнего в истории земледелия Запада отмечена весьма рельефными следами, именно плодосмен привел к удвоению урожаев хлебов во многих странах Запада и поднятию животноводства в эпоху, когда минеральные удобрения еще совершенно не были известны; и *там, где установился плодосмен, никакой замены его травопольем не происходило.* Благодаря плодосмену в Бельгии урожаи еще в начале XIX столетия достигли 15 ц с 1 га (против 7 ц в средние века), то же имело место в Голландии и (несколько позднее) в Германии.

Этим самым лишается силы и вторая группа аргументов за травополье — это утверждение, будто без культуры многолетних злаков нельзя придать почве той структуры, которая необходима для получения высоких урожаев, — однако Западная Европа достигла таких урожаев без помощи многолетних злаков. Наибольший успех имели севообороты норфолькского типа, в которых высевается чистый клевер, без примеси тимофеевки или других злаков (классическая последовательность: корнеплоды, яровое, клевер, озимое). И у нас данные Сумской и Носовской станций показали, что чистый клевер однолетнего пользования — лучший предшественник для озими и свеклы, чем клевер с примесью тимофеевки.

Но необоснованность утверждения, что без многолетних злаков для земледелия нигде нет спасения, вытекает не только из того факта, что при норфолькском и ему подобных севооборотах достигнуты самые высокие в Европе урожаи; ведь и из опыта длительной культуры на огородах ясно, что без многолетних злаков можно обойтись, и если скажут, что в огородах выручает навоз, то, во-первых, и это важно, что навоз и без многолетних трав обеспечивает урожаи, а во-вторых, на почвах с хорошо развитым поглощающим комплексом высокие урожаи можно иметь и без навоза, и без многолетних трав, как это показывает всесветно известный классический опыт Ротамстеда с озимой пшеницей, начатый еще в 50-х годах прошлого столетия; в этом опыте, несмотря на монокультуру, которая является сама по себе нежелательным фактором [4*], в течение

[4*] Именно, при бессменной культуре хлебов затрудняется борьба с сорными травами, поэтому в Ротамстеде применялась ручная полка; когда же на рубеже VII и VIII десятилетий ручная полка (по экономическим причинам) прекратилась, то

Таблица 2

Средние урожаи (в ц/га)	Десятилетия					
	I	II	III	IV	V	VI
Без азота	16,5	13,9	10,9	12,4	13,3	12,1
По навозу (175 кг N)	30,7	33,7	25,8	34,3	35,2	31,5
По минеральным удобрениям (141 кг N)	32,4	36,4	28,0	34,5	34,6	33,4

ряда десятилетий получались устойчивые и высокие урожаи пшеницы, если только давалось достаточное количество удобрений; вот наиболее важные для нашего случая результаты этого опыта (табл. 2).

Отсюда видим, что если между влиянием на почву корневой системы однолетних и многолетних злаков и имеются различия, то эти различия, очевидно, не важны в пределах поднятия урожаев до 35 ц с 1 га — этот уровень достигается без многолетних злаков. Но мы привели этот опыт, относящийся к исключительным условиям, только ради усиления ряда доказательств возможности получения высоких урожаев без помощи многолетних трав, в жизни же главная роль принадлежит плодосмену.

Не следует, конечно, понимать плодосменный тип севооборота слишком педантически, и вопрос об однолетнем и двухлетнем пользовании клевером (как и вопрос о парах) может по разным районам находить разное решение.

Отступления от основного типа плодосменного севооборота многообразны. Так, в Эльзасе английский норфольк переходит в пятиполье (корнеплоды, яровое, клевер, озимая пшеница, овес), в Бельгии иногда четыре культуры осуществляются в три года (озимь, пожнивная репа, яровое, клевер); иногда переход от норфолька к пятиполью происходит за счет двухгодичного пользования клевером, а Дания нашла способ, вполне сохраняя соотношение культур, типичное для норфолькского четырехполья, перейти к двухлетнему пользованию клевером путем простого сдваивания норфолька — там преобладает восьмипольный севооборот: корнеплоды, яровое, клевер, клевер, озимое, корнеплоды, ячмень, овес.

Но отсюда ясно, что и в *животноводческой Дании также господствует плодосмен, а не травополье, как это часто утверждают.*

урожаи по навозу упали до 20 ц, а по минеральным удобрениям — до 21 ц, но 60-летний опыт показал, что вопрос о структуре здесь никакой роли не играет.

Часто неправильно цитируются из числа ротамстедских такие опыты, где количество азота в минеральных удобрениях было недостаточным; так, например, в опыте с ячменем давалось ежегодно только по 47 кг азота в минеральных удобрениях и по 174 кг в навозе; само собой разумеется, что из сравнения несравнимых делянок получаются неправильные выводы.

Несомненно, и у нас подобные севообороты с одногодичным и двухгодичным клевером должны играть ведущую роль; ведь нашей главной задачей на третье пятилетие является — поднять площадь под клевером (и люцерной) до германского уровня (10% посевной площади) и дальше до уровня Франции (20%), но такая задача ничего общего с введением травополья не имеет ни по проценту площади под травами, ни по роду самих трав (бобовые). Злаковое же травополье с гораздо бо́льшим процентом трав будет иметь второстепенное значение, преимущественно в более удаленных от населенных центров засушливых местах, где не удается клевер и где следует сократить процент площади под хлебом (с соответственным увеличением ее на севере).

Повсеместное же введение у нас экстенсивного злакового травополья было бы только вредным, как по отрицательному влиянию на азотный баланс, так и прежде всего потому, что оно вызвало бы сокращение площади хлебов, в особенности озимых (наиболее ценных по большой устойчивости урожаев сравнительно с яровыми), и замедлило бы темп поднятия урожаев, так как тяжеловесные травопольные севообороты требуют значительного срока для своего проведения. Если верно, что когда-то впоследствии, благодаря большому количеству навоза при травополье, урожаи хлебов поднимутся, то «пока солнце взойдет, роса очи выест», а травопольные севообороты длительны и тяжеловесны, севообороты же плодосменного типа гораздо скорее можно провести в жизнь, без ущерба для площади хлебов и с выгодой для урожаев, благодаря улучшению азотного баланса.

Но наиболее вредным является не само стремление к травополью, но те, почему-то связанные с ним, попытки помешать развитию мероприятий по химизации земледелия путем выставления ряда неверных положений и попыток дискредитировать агрохимию, которая является научной базой для всех мероприятий по химизации.

Нужно, впрочем, с удовлетворением отметить, что стремление навязать нашему земледелию повсеместное введение травопольных севооборотов теперь в значительной степени аннулировано тем, что сами представители этого направления, чувствуя невозможность более отстаивать свои позиции, в последнее время стали произвольно изменять самый смысл слова «травополье»; вместо прежнего предпочтения многолетних злаков они начали говорить вообще о «многолетних травах» и называть травопольным и такие севообороты, в которые входит клевер не только двухлетнего, но даже и однолетнего пользования; это представляет *уже явный отказ от травополья как универсального средства* и является лишь неудачной попыткой спасти внешним образом слово «травополье», пожертвовав его внутренним содержанием.

Совершенно искусственным и ненужным является предложение: для спасения идеи травополья исправлять плодосменный севооборот и подсевать с осени тимофеевку к той озими, под которую будет подсеваться клевер, если этот клевер предназначается для одногодичного пользования.

Но это не поможет — *все равно это будет плодосмен,* хотя и несколько испорченный, так как подсев тимофеевки в случае одногодичного пользования клевером является вредным (этим уменьшается накопление азота в почве клевером — это очевидно и само по себе, и опытные данные по этому поводу имеются на Носовской опытной станции).

С точки зрения терминологической предложение называть травопольными как севообороты Англии и Бельгии с одногодичным пользованием клевером, так и севообороты Швейцарии с шестилетним пользованием травами (что основано на преобладании злаковых) вносит невообразимую путаницу и должно быть отвергнуто, так как в сущности оно равносильно предложению лишить слово «травополье» всякого конкретного содержания.

К сожалению, как мы уже видели, отмеченный выше фактический отказ от травопольных севооборотов с сохранением только ставшего бессодержательным декоративного названия не связан с отказом от ряда неверных положений, которые выдвигаются с целью помешать продвижению дела химизации, а значит — и поднятию наших урожаев с помощью удобрения, а наряду с этим крайние сторонники травополья открыли реакционный поход и против агрохимии, этой научной основы мероприятий по химизации, и делают бесплодные усилия повернуть назад колесо истории и повторить имевший место около 40 лет тому назад печальный опыт изгнания агрохимии из высшей школы. Одним из своеобразных проявлений враждебного отношения к агрохимии со стороны таких лиц, которые в этом отношении за 40 лет ничего не позабыли старого и ничему не научились новому, является *предложение заменить агрохимию биохимией.*

Разве биохимик будет заниматься подведением физиологических основ под применение удобрений и увязкой их применения с химическими процессами, происходящими в почве? Ни почвой, ни удобрениями биохимики не занимаются, и ничего, кроме бессильного желания повредить агрохимии, в этом предложении усмотреть невозможно. Самое *противопоставление агрохимии и биохимии никуда не годится, ибо никто так не способствовал развитию биохимии* (в ее фитохимической половине или химии растения), *как именно агрохимики,* попытка же этого противопоставления исходит от людей, которые не только ничего в биохимии не сделали, но способны к невероятнейшим утверждениям в этой области. Приходится напомнить таким «биохимикам», что много раньше, чем стали говорить о биохимии как об отдельной дисциплине, *ее основы были заложены именно агрохимиками.*

Так, 100 лет тому назад агрохимик Буссенго дал такие работы по дыханию и ассимиляции, что к нему ездили учиться методике биологии (Тимирязев); тот же Буссенго впервые провел параллель между обменом азотистых веществ в растительном и животном организмах (аналогия между аспарагином и мочевиной). Не кто иной, как агрохимик Адольф Майер, установил наличность «большой кривой дыхания», агрохимик

Э. Шульце дал методы выделения ряда азотистых веществ и изучил процессы распада этих веществ при прорастании; агрохимик Толленс изучил превращения (и дал методы определения) углеводов, Годлевский и Лясковский изучали превращения жиров при прорастании, да и все ходовые методы определения белков, углеводов и жиров родились в агрохимических лабораториях; у нас в последнее время Шмуком и Смирновым даны такие работы по биохимии табака, что их книги становятся справочниками по методам, которыми пользуются представители общей биохимии.

Видная роль агрохимиков в разработке химической физиологии (а значит, и биохимии) достаточно известна, и сами ботаники признают, что *агрохимиками в этой области сделано больше, чем ботаниками-физиологами* (см.: Костычев. Физиология растений).

Есть авторы, которые в целях повредить агрохимии пытаются дискредитировать ее отдельных представителей и, рассчитывая, очевидно, на неосведомленных читателей, меня избирают объектом для нападок и изображают как одностороннего «удобренца» [5*]. Придется ради новичков в этой области, которых пытаются ввести в заблуждение эти авторы, напомнить, что мои обе диссертации касаются как раз биохимических процессов (превращение белков в растении в связи с дыханием и ассимиляцией), что я первый в нашей стране (в МГУ с 1894 г.) стал читать курс химии растений, что мои работы печатались на страницах таких журналов, как «Biochemische Zeitschrift», и именно за биохимические (а не за «удобренческие») работы я избран как в нашу Академию наук, так и почетным членом некоторых заграничных академий и ряда ботанических (а не сельскохозяйственных) ученых обществ. Я добавлю также, что мой доклад на «Неделе русских ученых» в 1927 г. в Берлине был посвящен вопросу об единстве основных превращений белковых веществ в растительном и животном организмах, а не вопросам удобрений. Да и вообще можно сказать, что агрохимики в нашей стране менее, чем где-либо, были склонны проявлять односторонность и ограничивать свою деятельность узкими рамками техники применения удобрений — достаточно назвать имена П. А. Костычева, П. С. Коссовича, К. К. Гедройца, которые, занимаясь удобрениями, в то же время глубоко изучали жизнь растения и жизнь почвы [6*]. И вот когда мы слышим, что современных наших агрохимиков обвиняют в недостаточной «биохимичности» такие авторы, которые сами способны делать удивительные открытия в этой области, например приписывать бактериям безнаказанное выделение сильных кислот, растворяющих золото, платину, стекло и фарфор, и говорить с серьезным видом об «ионе

[5*] См., например, статью т. Кукса в «Социалистической реконструкции сельского хозяйства», № 6, 1937.

[6*] Если Гедройц в последний период своей жизни занимал кафедру почвоведения, то он пришел на нее, будучи уже зрелым агрохимиком, потому что он дал так много для химии почвы.

CaO» (да еще с двумя точками), то приходится только удивляться и вспоминать добрым словом никого иного, как Эразма Роттердамского!

Другой способ подкопаться под агрохимию со стороны некоторых почвоведов «травопольного толка» состоит в их стремлении самим стать агрохимиками, несмотря на полное отсутствие у них химической подготовки. Нередко эта «агрессия» со стороны почвоведов неверно изображается как ответная реакция на такую же «агрессию» со стороны агрохимиков. Однако никакой симметрии здесь нет, ведь никогда не было такого агрохимика, который объявлял бы почвоведение ненужным предметом в агрономической школе, и только почвоведы доходили до утверждения, будто без агрохимии можно обойтись. Такие почвоведы претендуют на то, чтобы самим заниматься вопросами воздействия на почвенное плодородие и применением удобрений; но они забывают, что тогда кроме почвы и удобрений нужно хорошо знать еще и основы минерального питания растений и влияния удобрений на процессы, идущие в растении, а раз нужно увязывать воедино свойства растения, почвы и удобрения, то и получается агрохимический треугольник.

И вот, вместо того чтобы открыто признаться в своем стремлении переквалифицироваться из почвоведов в агрохимики и после этого поискать соответственной кафедры, начинается борьба с лицами, теперь возглавляющими агрохимию, и напрасные попытки поглотить последнюю, а одновременно приходит аппетит поглотить еще и общее земледелие. Но при этом забывают французскую поговорку «qui trop embasse, mal etreint»,— [кто слишком много захватывает, тот плохо удерживает], забывают, *что такое стремление равносильно самопотоплению почвоведения* как отдельной кафедры; оно означало бы растворение почвоведения в какой-то энциклопедии земледелия, т. е. *возвращение к положению вещей, которое имело место полстолетия тому назад.*

Но если говорить пока только о стремлении слиться с агрохимией и раствориться в ней, то оно привело бы к тому положению, которое имеет место в Западной Европе, где почти нет самостоятельных кафедр почвоведения [7*], а обычно профессор агрохимии излагает почвоведение как одну из частей своего курса (как Вигнер в Цюрихе, Эренберг в Бреславле, Бланк в Геттингене, Майвальд в Гогенгейме и пр.). Но ведь если в Цюрихе, Бреславле и Кенигсберге [8*] имеется всего лишь по нескольку десятков студентов на агрохимических отделениях университетов, и там экономически невозможно иметь чуть ли не равное этому число профессоров, то нашим школам, где имеются тысячи студентов, и где существует гораздо большая дифференцировка читаемых курсов, все это примером служить не может — нам, конечно, нужен отдельный курс почвоведения, который наравне с физиологией растений должен служить базой

[7*] Кроме Берлина, где наряду с кафедрой агрохимии существует кафедра геологического почвоведения.

[8*] Где почвоведение слито в одну кафедру с общим земледелием.

и для общего земледелия, и для агрохимии; если же почвоведы названного толка сами хотят стать агротехниками или агрохимиками, то это доказывает только то, что они сделали ошибку при выборе для себя подходящей кафедры, а вовсе не то, чтобы почвоведение следовало потопить в земледелии и агрохимии.

Но, как древние говорили об Юпитере, «quos vult perdere dementit» — [безумствуя, приближаешь свою гибель], и вместо здравого разделения труда в деле исследования и преподавания начинаются напрасные мечтания о «золотом веке», когда минеральных удобрений не было и агрохимия считалась ненужной; *отсюда борьба уже не только с агрохимией* в *школе, но и с химизацией* в *жизни,* отсюда стремление крайних защитников травопольной системы почему-то противополагать заботу о доставлении должных количеств пищи растениям (азота, фосфора, калия) заботам о должной структуре почвы, о доставлении корням растений воды и воздуха — ведь вода и воздух пищи не заменяют, и, казалось бы, наоборот, именно при хорошем снабжении растений водой и воздухом они способны с выгодой использовать количества (большие) удобрений.

Однако представители этого течения почему-то мечтают вместо этого о том, чтобы во главу угла третьего пятилетия было поставлено отнюдь не усиление удобрения почв Союза, а приведение их в структурное состояние путем введения травопольных севооборотов.

Странное утверждение, будто вопрос о травополье и о структуре важнее вопроса об удобрениях, основано, кроме полного игнорирования опытных данных по применению удобрений (теперь очень многочисленных), также и на совершенно неверном представлении о климатических условиях, в которых применяются и будут применяться удобрения в Союзе.

Мы имеем в виду общие утверждения, подобные следующему: «Не азот, не фосфор, не калий, не микроэлементы находятся в минимуме, а вода. И пока этот недостаток воды не будет пополнен, *все количество минеральных удобрений будет лежать мертвым капиталом*» [9*].

И это пишется после того, как многочисленные опыты НИУ на 300 опытных станциях, еще более многочисленные опыты ВИУАА в колхозах и совхозах и особенно опыты передовиков, применивших удобрения в еще более крупном масштабе, *сделали для всех очевидным, что не* в *будущем,* а *теперь же, без прохождения через травополье* и *при довольно вольном обращении со структурой, но только при больших дозах удобрений* (и, *конечно, на фоне хорошей агротехники*) *можно получить высокие урожаи.*

Представление, будто вода на территории Союза везде находится в минимуме, совершенно не отвечает действительности — у нас есть как зона избыточного увлажнения, так и среднего и недостаточного. При громадных площадях этих зон мы имеем возможность разместить с выго-

[9*] В. Р. Вильямс. Доклад на июньской сессии ВАСХНИЛ (см. также «Почвоведение», 1937).

дой не только 24 млн. т удобрений, а и 48 и более, если бы только наша промышленность могла их дать. Ведь если даже очень далеко пойти навстречу этим преувеличенным взглядам на значение засухи и сделать самое широкое допущение, что на 50% нашей посевной площади засуха не позволяет применять удобрений, то на остальных 50% (или 70 млн. га) применение 48 млн. т дало бы только 0,7 т на 1 га, или по 42 кг азота, фосфора и калия, что вовсе немного (передовики применяли нередко в 10 раз большее количество).

Но на деле сделанные выше допущения также не отвечают действительности, так как опыты НИУ показали, что хотя действие удобрений и убывает к югу, но оно вовсе не равно нулю, даже на южных черноземах; для северной половины, занятой подзолами, серыми лесными землями и деградированным черноземом, прирост от удобрения составлял от 100 до 110% (при 120 кг действующего начала на 1 га), а в черноземной полосе он опускался от 45 до 37% по мере продвижения к югу, но никак не до нуля. Кроме того, давно известно, что удобренные растения экономнее расходуют влагу на образование единицы урожая, чем неудобренные.

Поэтому совершенно необоснованным является следующее заключение крайних сторонников травополья о моих предложениях по плану на третье пятилетие:

«Академик Д. Н. Прянишников считает, что на 1942 г. НКТП должен довести производство минеральных удобрений до 24 млн. т, по-видимому, в год. Конечно, с этим согласиться никак нельзя, даже если привлечь на помощь нужды химической обороны, как это делает академик Прянишников. Я же стою на иной точке зрения, чем академик Прянишников» [10*]. Несколько ниже говорится «об омертвлении миллиардов, потребных на производство удобрений» [11*].

Совершенно непонятно, как можно говорить об избыточности этого количества удобрений и о риске «омертвления» капиталов, когда размер действий удобрений в разных районах хорошо известен, он учтен десятками тысяч опытов, и никто удобрений вслепую не применяет, когда 24 млн. т удобрений отвечают только 11 кг азота (также фосфора и калия) на 1 га посевной площади; но такими дозами никто не удобряет, поэтому применение пойдет преимущественно в дозах 45—60 кг, примерно на $^1/_5$ нашей посевной площади, что заведомо для нас недостаточно ни по доле площади, ни по дозам, даже если говорить не об единицах, о дозах передовиков (300—500 кг азота и более на 1 га), а о целых районах, так как, например, представители Средней Азии заявили, что если им дадут по 200 кг азота на 1 га, то они гарантируют урожай в 30 ц с каждого гектара орошенной площади хлопковых посевов.

[10*] В. Р. Вильямс. Доклад на июньской сессии ВАСХНИЛ.

[11*] Удобрения применяются только там, где прирост урожая оплачивает все добавочные расходы, поэтому такая экскурсия в область экономики является очень неудачной.

В итоге сельскохозяйственные круги единодушно находят мое предложение о 24 млн. т удобрений недостаточным; представители промышленности готовы всеми силами пойти навстречу сельскохозяйственникам, они уже гарантируют 20 млн. т при теперь намеченном размере ассигнований (значит, речь идет о величинах одного и того же порядка), но оказывается вполне возможным дать и 24 млн. т, если ассигнования будут несколько повышены; а так как урожаи легко могут оплатить не только 24, а и 48 млн. т и выше, то вопрос об омертвлении капиталов является праздным (если только не игнорировать агрохимию).

Итак, если два названных фронта (земледелия, промышленности) единодушны, то в чьих интересах ведется разговор о снижении заказов промышленности под предлогом защиты травополья?

Подводя итоги, подчеркнем еще раз, что нельзя считать травополье единственной и незаменимой системой земледелия, оно имеет для нас лишь второстепенное значение по сравнению с севооборотами других типов. Противополагать заботу о структуре и воде заботе о пище для растения, как это делается со стороны защитников травополья, недопустимо; наоборот, чем лучше растения снабжены водой, тем выгоднее снабдить их и бо́льшим количеством удобрений. Представление о том, что без травополья недостаток влаги в почве помешает нам применить даже 24 млн. т удобрений, противоречит всем данным опытных учреждений, многочисленным опытам, проведенным в колхозах и совхозах, и особенно опыту передовиков; предел для количества удобрений, который с выгодой может быть применен в нашем земледелии, лежит много выше, практически сейчас дело совсем не в нем, а в том, на какую высоту мы хотим поднять урожай, сколько клевера и навоза мы будем иметь к 1942 г. и сколько удобрений может дать нам промышленность.

Я вполне допускаю возможность иных построений, иного соотношения между приходными статьями баланса, чем в моем проекте, но что касается авторов, которые считают ненужным самый учет источников азота, фосфора и калия применительно к урожаю 1942 г. и думают, что они знают какой-то секрет получения высоких урожаев без внесения соответственных количеств удобрений (и без знания агрохимии), то об этих авторах можно только сказать, что они напрасно считают себя материалистами.

ЗНАЧЕНИЕ ХИМИЗАЦИИ В ДЕЛЕ ПОДНЯТИЯ НАШИХ УРОЖАЕВ В ПРЕДСТОЯЩИЕ ПЯТИЛЕТИЯ *

Известно, что задача химизации земледелия (как и его механизации) тесно связана с задачей обороны страны: трактор и танк, аммиачная селитра и аммонал, нитраты и нитроглицерин — одни и те же процессы лежат в основе этих производств, и только та страна, которая в мирное время сумеет создать ряд этих отраслей промышленности на хозрасчетной базе, может быть готовой к обороне [39].

В этом отношении существует полная противоположность между старой Россией, вступившей в войну в 1914 г. совершенно неподготовленной, и современным положением Советского Союза. Только первые пятилетки положили начало химизации земледелия у нас.

Первое пятилетие было преимущественно «инкубационным периодом» в зарождении нашей химической промышленности: нужно было найти сырье, создать рудники, построить комбинаты. К первому пятилетию относятся блестящие открытия академиком Ферсманом крупнейших залежей ценного фосфатного сырья на Кольском полуострове и открытие академиком Курнаковым и профессором Преображенским залежей калийных солей в Соликамске, которые оказались самыми богатыми на земном шаре; тогда же было показано, что запасы угля в одном только Кузнецком бассейне равны запасам Англии, Франции и Германии, вместе взятым, а уголь важен, помимо металлургии, и для азотной промышленности.

Ко второму пятилетию уже были закончены трудные работы по созданию рудников и постройке комбинатов на Кольском полуострове и на Урале и начался быстрый рост производства туков. До первых пятилеток по производству туков мы занимали последнее место в Европе, наряду с Турцией, к концу второго пятилетия мы вышли по сумме продукции на третье место, а по производству суперфосфата — на первое место в Европе и на второе место на земном шаре (первое принадлежит США).

Естественно возникает вопрос, какое же действие на урожай оказали эти большие количества минеральных удобрений; но, конечно, ответ нужно искать только по тем культурам, которые получают удобрения, а таковыми являются технические культуры. Дело в том, что наша посевная площадь очень велика, она в семь раз больше посевной площади Германии; мало того, еще до 1939 г. наша посевная площадь (140 млн. га) равнялась посевной площади всей Европы (включая и Турцию); поэтому, несмотря на абсолютно большие цифры продукции туков, мы не можем

* Печатается без сокращений. Работа впервые была опубликована в «Сборнике научных работ факультета агрохимии и почвоведения ТСХА». М., 1945.

распылять их по всей огромной посевной площади, но должны сосредоточить их применение на более ценных культурах, как хлопчатник, чайный куст, сахарная свекла, лен, табак, конопля и других культурах, более ценных, чем зерновые хлеба. Особенно велика эффективность туков на этих культурах в тех случаях, когда недостаток влаги не является фактором, ограничивающим рост урожаев.

По удобрению технических культур мы в ряде случаев догоняем и перегоняем передовые страны Западной Европы. Так, если взять количество удобрений, вносимых под хлопчатник в УзССР, и сопоставить со средними данными (для всех культур) по США и западноевропейским странам, то получим такую лестницу:

	США	Франция	Германия	Бельгия	(УзССР)	Голландия
Количество удобрений на га (в кг)	12	22	67	86	106	109
Урожай (в ц)	9	15	22	27	18	30

Отсюда видно, что по количеству удобрений на гектар хлопковое хозяйство Узбекистана конкурирует с Голландией, занимающей первое место на земном шаре по интенсивности земледелия**. Во втором пятилетии мы имели такую картину роста сбора хлопка с гектара в Узбекистане.

	1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.
Сбор хлопка (в ц/га)	8,0	7,9	11,6	16,2	16,1
Завоз минеральных удобрений (в тыс. т)	0,15	1,66	2,70	5,10	5,82

Таким образом, в целой республике мы наблюдаем удвоение урожаев за пятилетие, а в отдельных колхозах получались урожаи в 35 ц/га, что означает повышение урожаев в четыре раза, причем кривая роста урожаев всеми своими изгибами повторяла кривую завоза минеральных удобрений.

Такую же картину мы наблюдаем в Грузии для сбора чайного листа с гектара, который увеличен в два с половиной раза (средние за трехлетия):

	1932—1934 гг.	1936—1937 гг.	1938—1940 гг.
Сбор чайного листа (в кг/га)	891	1681	2252
Завоз удобрений (в тыс. т)	1,3	28	51

** Если урожаи по Узбекистану не так высоки, как этого следовало бы ожидать по количеству минеральных удобрений, то это потому, что в других странах минеральные удобрения применяются по хорошему навозному фону, в Узбекистане же ведется почти безнавозное хозяйство (см. ниже).

Интересную картину представляет движение урожаев сахарной свеклы в Киргизии, где применение удобрений дает больший эффект, чем на Украине, так как там благодаря орошению количество осадков не является лимитирующим фактором; вот средние урожаи для Кантского района (передового в Киргизии):

	1934 г.	1936 г.	1938 г.	1940 г.
Урожай корней (в ц/га)	166	345	349	471
Завоз удобрений (в тыс. т)	3,5	8,2	11,2	14,5

По подсчетам профессора П. А. Баранова, стоимость прироста продукции от применения удобрений только по четырем отраслям (хлопок, сахар, чай и волокно льна) составляла в 1938 г. 4 млрд. руб. при стоимости удобрений около 600 млн. руб. По плану 1942 г. продукция туковой промышленности должна удвоиться (по сравнению с 1937 г.), тогда возросла бы и ценность прироста урожаев, но так как до настоящего насыщения удобрениями площади под техническими культурами еще очень далеко, то крупный прирост стоимости продукции технических культур под влиянием удобрений обеспечен для ряда пятилетий.

Итак, при удобрении технических культур в ряде случаев мы уже догоняем и перегоняем передовые страны Европы по количеству удобрений, вносимых на гектар; это относится к орошаемому хозяйству Средней Азии и к влажным субтропикам, где мы ограничены размером площади; но это не значит, что тот же метод нам придется применить в культуре зерновых хлебов, где мы площадью не ограничены,— тут нужен совершенно другой подход.

Хлеба у нас не получают минеральных удобрений не только потому, что химическая промышленность их не производит, но потому, что здесь нужна принципиально иная установка.

Ведь если бы мы вздумали применять под все культуры минеральные удобрения в масштабе их применения в Голландии, Бельгии и Германии, мы пришли бы к абсурдным цифрам [5]. Наша посевная площадь перед войной достигла 150 млн. га, и если применить на ней минеральные удобрения по голландскому масштабу (т. е. две трети тонны на гектар), то понадобится 100 млн. т туков, т. е. в десятки раз больше того, что мы производим теперь, и вдвое больше, чем дает вся туковая промышленность на земном шаре.

Мало того, Голландия применяет в шесть раз больше навоза, чем мы, но для этого она занимает половину пашни кормовыми культурами, да еще имеет громадную площадь хороших лугов, равную всей посевной площади.

Нам нельзя обременять нашу химическую промышленность непомерными заданиями, нельзя использовать посевную площадь по голландскому типу потому, что там животноводство вытеснило хлебопашество, и они производят много навоза при малой площади под хлебами, так как они

давно перешли на импортный хлеб. Но переходить на производство 100 млн. т туков и подражать Голландии в утрировке животноводства нам и не нужно.

Вообще неправильно брать за пример прижатую к морю Голландию или малоземельную Бельгию, у которой все распахано; у нас же имеются громадные возможности расширения пашни, когда это нам понадобится. Эти маленькие страны однородны и по естественноисторическим и по экономическим условиям; для нашего же Союза, занимающего одну шестую часть суши, состоящего из ряда разнообразных по условиям республик и краев, дóлжно решать задачу поднятия урожаев в разных случаях по-разному, и статистическое среднее для всего Советского Союза у нас слагается (и должно слагаться) из гораздо более разнообразных компонентов, чем в названных маленьких и более однородных странах.

Нужно учесть потребности населения, включая будущий его прирост, определить необходимый валовой сбор хлебов, разделить цифру этого сбора на число гектаров под хлебами и таким путем подойти к требуемой высоте урожая с гектара, а не исходить из произвольно взятого урожая в Голландии или Германии.

Сделаем для примера такой расчет: примем условно, что население Советского Союза через 15—20 лет составит 220 млн. человек и что нужно дать по 4 ц продовольственного зерна на душу, добавим по 2 ц зерна кормового, но чтобы твердо обеспечить этот средний минимум в 6 ц зерна на душу, прибавим еще одну треть (2 ц) для страхования от колебаний климата — влияния засухи на юго-востоке; в благополучные годы эти 2 ц пойдут на откорм свиней и на экспорт (при 220 млн. населения это составит 44 млн. т, что в 4—5 раз превышает экспорт старой России).

По этому расчету общая потребность в зерне составит 176 млн. т, что отвечает урожаю в 16 ц/га в среднем для всего Советского Союза (принимаем зерновую площадь в 110 млн. га).

Конечно, среднее для Союза слагается из различных урожаев по республикам и краям.

Но исторический опыт Запада показывает, что 16 ц/га можно получать без минеральных удобрений, только путем введения посевов клевера в размере около 25% от посевной площади и правильным сохранением и применением навоза, в который переходит азот клеверного сена.

Так, в Англии, Голландии, Бельгии и Северной Франции урожаи поднялись еще задолго до введения минеральных удобрений до высоты 15—17 ц вместо средневекового уровня 7—8 ц; причиной был переход от зернового трехполья к плодосмену, типовым выражением которого явился известный норфолькский севооборот: пропашные, яровое, клевер, озимое.

В этом севообороте клевер высевается без злаков и поэтому он является отличным предшественником для озимых; под влиянием клевера постепенно удвоились урожаи хлебов и пропашных растений, стал возможным переход от картофеля к корнеплодам, а так как картофель и корнеплоды дают втрое большее количество перевариваемых веществ с гектара,

чем хлеба, и в то же время пар совершенно исчез, то общая продукция на гектар за весь севооборот под влиянием перехода к норфолькскому севообороту на Западе, по крайней мере, утроилась по сравнению со средневековым трехпольем [3*].

Этот процесс, начавшийся в названных странах в XVIII столетии, закончился там в первой половине XIX столетия, в то время как массовое введение минеральных удобрений началось лишь в 80-х годах XIX столетия; оно дало новый толчок росту урожаев и привело в XX столетии к новому их удвоению — к уровню 30 ц/га в Голландии и Дании (в среднем для целых стран), что в четыре раза превышает урожаи хлебов, получаемых в Европе в эпоху средневекового трехполья. Общая же продуктивность посевной площади возросла в 6—7 раз.

Нам пока достаточно урожая в 16 ц/га в среднем по Союзу. Для этого нам нужно ввести клеверосеяние в том размере, который является типичным для плодосмена (25% от посевной площади), т. е. иметь, например, два поля клевера при восьмипольных севооборотах, которые генетически связаны с классическим плодосменным четырехпольным,— обычно это удвоенный норфольк с заменой одного пропашного поля паром (эта генетическая связь восьмипольных севооборотов с норфольком хорошо видна на датском севообороте: корнеплоды, яровое, клевер, клевер, озимь, картофель, озимь, ярь) [4*].

Таким образом, не по случайным и временным причинам (как недостаточное развитие нашей туковой промышленности), а принципиально по-иному нужно строить план повышения урожаев хлебов, чем технических культур, нам нужно не только много хлеба, но много дешевого хлеба, а хлеб, получаемый с помощью селитры и аммиачных солей, дешевым не бывает. Но главное, размеры туковой промышленности, необходимой для удовлетворения потребностей технических и садово-огородных культур, у нас так велики, что невозможно налагать на химическую промышленность еще более грандиозную нагрузку по удобрению нашей 100—110 миллионной площади зерновых культур — уже одна сумма площадей под ценными культурами должна составить около 22 млн. га. Дело в том, что к чисто техническим культурам нужно присоединить картофель всякого назначения, остальные овощные культуры, сады и виноградники, что в сумме и составит 22 млн. га (это равно всей посевной площади Германии). Для удобрения такой площади потребуется около 20 млн. т удобрений [5*] (что в 6 раз превышает размеры нашей совре-

---

[3*] Если принять во внимание удвоение урожаев хлебов, утроенную продукцию в пропашном клину и общее увеличение посевной площади на 50% вследствие упразднения пара.

[4*] Травопольные севообороты швейцарского типа, где процент площади под травами достигает 66, уместны только в чисто животноводческих районах, а в целом для Союза нужны севообороты плодосменного типа с 25% клеверной площади.

[5*] Считая, например, по 50 кг N и K_2O и по 100 кг P_2O_5 на гектар для этого рода культур.

менной химической продукции и равняется почти половине мирового производства туков).

К этому присоединяются еще экономические причины другого порядка, не позволяющие пока думать о применении азотистых удобрений под хлеба [6*], к этому же приводит широкая возможность расширения в будущем посевной площади в полосе достаточного увлажнения (подзолистая зона), где, по Прасолову, можно найти (идя от Прибалтики до Тихого океана) свыше 80 млн. га пахотнопригодной площади без ущерба для лесного хозяйства. Если для освоения этих площадей потребуется, кроме клевера, фосфоритная мука, то это не ляжет бременем на нашу химическую промышленность.

Расширение пашни в сторону полосы достаточного увлажнения нам необходимо для придания устойчивости нашим урожаям в годы засухи, а также и для исправления неправильного соотношения между численностью сельского населения и размерами посевной площади (в то время как, например, в США приходится 5 га посевов на каждую душу сельского населения, у нас не выходит и 1,5 га).

Но для того чтобы осуществить поднятие урожаев хлебов с помощью бобовых (без массового применения минеральных удобрений), мы должны прежде всего изменить наше отношение к навозу.

К сожалению, за последнее десятилетие имело место, вместо усиления, ослабление его использования: если в начале первого пятилетия считали, что вывозится 300 млн. т навоза в год, то во втором пятилетии эта цифра опустилась до 200 млн. т, а в 1940 г., по данным Наркомзема СССР, было вывезено лишь 125 млн. т, т. е. менее 1 т на гектар посевной площади, тогда как в Западной Европе вывозится от 6 до 10 т на гектар ежегодно.

Недостаточность вывоза навоза у нас является главной причиной крайне неблагоприятного баланса прихода и расхода питательных для растений веществ (вынос урожаями и возвращение с удобрениями); так, для 1940 г. имеем (в %)

	Азот	Фосфор	Калий
Из взятого урожаями (100%) было возвращено:			
с навозом	14,8	16,1	16,1
с минеральными удобрениями	3,2	16,6	4,8
с корнями бобовых	8,2	—	—
Всего:	26,2	32,7	20,9
Дефицит	73,8	67,3	79,1

[6*] Азотистые удобрения могут находить широкое применение под хлеба, если цены на последние вдвое превышают цену на аммиачную соль, у нас же они составляют только 40% от последней.

Опыт Западной Европы показывает, что для того, чтобы урожаи росли, необходимо возвращать азот и калий на 75—80%, а фосфор на 100% (или даже на 110%).

Если такое обращение с навозом вообще является тормозом к поднятию урожаев хлебов, то оно особенно недопустимо во время войны, когда даже технические культуры не получают обычного количества минеральных удобрений и когда нужно выявить все ресурсы в хозяйстве, способные в какой-то степени заменить недостающие минеральные удобрения.

Подсчеты общего баланса по Союзу, конечно, слишком схематичны, нужно дифференцировать подход по преобладающим областям распространения отдельных культур (свекловица, хлопчатник, лен и др.).

Остановимся на одном примере — на хлопковом хозяйстве Узбекистана; на этом примере можно демонстрировать, насколько недостаточно используются внутрихозяйственные ресурсы азота, которые при 25% площади под люцерной являются очень большими, но на деле большая часть этого азота пропадает без пользы — это азот надземных частей, количественно преобладающий над азотом корневых остатков.

Дело в том, что там нет подстилки — хлеба были изгнаны с орошаемой площади, вытесняя же хлеба, хлопчатник почти лишил себя навоза, так как без соломы нельзя правильно приготовить навоз, нельзя уловить жидкие выделения, они или стекают на сторону, или на месте подвергаются разложению и большая часть азота люцерны уходит в воздух в виде аммиака; люцерна без соломы становится плохим навозообразователем. Насколько велики эти потери, показывает следующий схематический подсчет: люцерна в Средней Азии должна давать 4 укоса, что отвечает по крайней мере 100 ц сена, или за 3 года 300 ц; так как в сене люцерны содержится 2,3% азота, то в сумме имеем 690 кг азота, а так как за люцерной следует хлопчатник, занимающий 6 полей в девятипольном севообороте, то на каждое поле хлопчатника в виде навоза должна попасть одна шестая часть всего азота люцерны, или 115 кг в год. Данные же по вывозке навоза показывают, что на каждый гектар хлопчатника в среднем попадают не 115 кг, а только 15 кг азота.

Громадную потерю 100 кг дарового азота люцерны пытаются возмещать внесением 40—45 кг дорогого азота аммиачной селитры, вместо того чтобы применять ее на фоне хорошего навозного удобрения.

Ненормальность азотного баланса в хлопковом хозяйстве хорошо видна из следующего сопоставления: в то время как в наиболее индустриализованной в Европе стране, в Германии, из общего выноса азота урожаями (100%) возвращается с навозом 42,5%, а с минеральными удобрениями 22,5%, в Узбекистане мы имеем обратное соотношение — только 17,5% от выноса азота хлопчатником возвращается с навозом, а минеральными удобрениями покрывается 48% от выноса. Вот почему Узбекистан, превосходя Францию, Германию, Бельгию по количеству применяемых минеральных удобрений на гектар и конкурируя с Голландией за первое место в мире, имеет урожаи хлопчатника более низкие (18 ц/га),

чем он должен был иметь при применении минеральных удобрений на фоне навоза (32 ц/га). Это расплата за отсутствие подстилки, за отсутствие правильно организованного навозного хозяйства [7*].

Мною было в январе 1942 г. внесено предложение ввести на орошаемые площади культуру хлебов, дающих солому, в такой пропорции, чтобы поднятие урожая на оставшейся площади с избытком компенсировало отведение части хлопковой площади под хлеба; а так как эти последние дают в Узбекистане два урожая в вегетационный период, когда хлопчатник дает только один, то получается крупный выигрыш в продукции как соломы, так и зерна.

Вместо севооборота с тремя годами люцерны и шестью полями хлопчатника я предложил тогда такой севооборот: три года люцерны, два года хлопчатника, два года хлебов (с четырьмя урожаями) и затем еще два года хлопчатника. При этом севообороте, даже в условиях Средней Азии, должно получиться достаточно навоза, чтобы внести под хлопчатник два раза по 20 т за одну ротацию; кроме навоза на каждый гектар хлопчатника должно приходиться в полтора раза больше минеральных удобрений, так как вместо 6 га придется удобрять только 4 га; под совокупным влиянием навоза и повышенного количества минеральных удобрений урожай хлопчатника должен удвоиться. Тогда общий сбор его увеличился бы на 33%, несмотря на сокращение площади, а урожай зерна и повышение продукции молока и мяса явятся чистым плюсом от перехода к рациональному севообороту взамен современной, плохо замаскированной монокультуры хлопчатника.

В случае введения такого севооборота продукция зерна в Узбекистане достигла бы 2 ц на душу населения (не считая богарных посевов). Мое предложение в основе было принято Госпланом Узбекской ССР.

Но если в 1943 г. и проведена перестройка севооборотов в Узбекистане в духе моего предложения, и отведено было видное место производству зерна и подстилки на орошаемой площади, то это мероприятие сразу не могло отразиться на урожае хлопчатника, так как одновременно не были проведены должные меры по увеличению поголовья и по урегу-

---

[7*] Так как наш подсчет для Узбекистана построен на некоторых схематических допущениях (например, взяты возможные урожаи люцернового сена, а не статистические данные о реальной величине укоса), то приведем еще подсчет профессора Кудрина для Андижанского района, основанный на статистических данных:

	С навозом	Жмыхом	Корнями люцерны	С минеральными удобрениями
Из общего выноса азота урожаями возвращается (в %)	5,8	4,2	11,0	49,3

Всего возвращается около 70%, следовательно, на долю минеральных удобрений приходится свыше двух третей возвращаемого почве азота, а на навоз приходится еще меньше, чем в приведенном выше общем схематическом подсчете.

лированию содержания скота, большему накоплению и более полной вывозке навоза (что в военное время и не могло быть осуществлено).

Но с вывозкой навоза у нас встречаются трудности (так как трактор зимой находится в ремонте или для этой работы автотранспорт не получает горючего, количество же лошадей вообще уменьшилось, а теперь еще и много отвлечено на фронт); поэтому я пошел по другому пути обеспечения хлопчатника азотом, именно по пути использования новых возможностей для применения зеленого удобрения. Эти новые возможности состоят в том, что на орошаемых землях появилась сахарная свекла [8*] и хлеба, которые освобождают поле гораздо раньше, чем хлопчатник, а это позволяет производить уже в сентябре посев озимых азотособирателей, из которых больше других испытывался озимый горох, но еще интереснее были бы более мелкосемянные бобовые озимого типа, которые весной могли бы быть запаханы. При этом не будет никаких потерь накопленного азота, он на 100% попадет в почву (в отличие от люцерны, большая часть азота которой теряется при прохождении через скотный двор и навозохранилище). Если бы эта мера была осуществлена в 1943 г. полностью, то на площади в 300 000 га хлопчатник получил бы по 80—100 кг азота на гектар.

В связи с этим мною предложен в качестве переходного иной севооборот, чем вышеприведенный, именно только с одним полем хлебов, разделяющих три поля хлопчатника (после люцерны) от двух его посевов, следующих за хлебами, и с зимней культурой гороха на зеленое удобрение; при этом в случае замены гороха мелкосемянными бобовыми будет возможно разведение их подсевом под предыдущую культуру; это даст также крупную экономию на транспорте семян, так как при посеве однолетних клеверов потребуется в 5—6 раз меньше посевного материала, чем в случае озимого гороха.

Соответственно моему предложению, сделанному весной 1943 г., Наркомземом СССР заказана была в США крупная партия озимого гороха; к сожалению, выполнение заказа запоздало, так что посев был отложен до осени 1944 г., и это мероприятие может отразиться на урожае хлопчатника не ранее как в 1945 г.

Однако дальше я пришел к выводу, что недостаточно применять зеленое удобрение один раз за весь севооборот, нужно найти пути большего насыщения хлопковых посевов озимыми азотособирателями, и я поставил вопрос, нельзя ли сделать так, чтобы каждый посев хлопчатника производился по фону подходящего азотособирателя.

Такая система применяется в Египте, где в ряде мест в хлопковом хозяйстве хлопчатник занимает 100% площади летом, а зимой все 100%

[8*] Так как в Средней Азии свекла мартовского сева уже к концу августа накапливает 17—18% сахара, то выгоднее начинать уборку и пускать заводы в ход раньше и не затягивать работу заводов до марта, когда в свекле при условиях среднеазиатской зимы содержание сахара падает так, что работа завода становится невыгодной.

занимаются клевером (Tr. alexandrinum), последний (весенний) укос которого запахивается как удобрение под хлопчатник.

Этот своеобразный плодосмен при однопольном хозяйстве, конечно, не может быть у нас воспроизведен буквально, так как у нас поздно сеять бобовые после уборки хлопчатника, а подсев озимого гороха во время роста хлопчатника не дал хороших результатов, поэтому нужно найти другое бобовое, которое выносило бы подсев под хлопчатник при последнем мотыжении.

Ободряющий пример мы имеем в опытах агронома В. Г. Петрова (Ташкент), которому удалось среди озимых пшениц найти форму, которая выносит подсев под хлопчатник в августе (это выгодно и не только потому, что озимые дают больший урожай, чем яровые, но и потому, что озимые хлеба раньше освобождают поле и тем повышают возможность маневрирования с пожнивными культурами).

Пример В. Г. Петрова позволил надеяться, что среди семейства бобовых также можно найти формы, выносящие подсев под хлопчатник и менее страдающие при уборке последнего, чем озимый горох, но здесь требуется прежде всего опытная проработка этого вопроса, и только после нее можно будет делать предложения для внедрения в производство.

С этой точки зрения важно изучить, например, шабдар (разные расы), инкарнатный клевер, высеваемый в Южной Европе с осени для получения раннего укоса весной, затем следует обратить внимание на пажитник (Trigonella foenum graecum), разводимый с успехом в качестве кормовой культуры в Азербайджане под именем «шамболы». Эта культура сосредоточена в Нахичеванском районе, где занимает довольно видное место в полеводстве. В литературе имеется мало сведений по технике культуры этого растения, но все же имеются следующие характерные строки в статье Серпуховой[9*]: «Благодаря очень короткому вегетационному периоду, она может быть использована в уплотненных севооборотах как пожнивная культура на корм или зеленое удобрение и является хорошим предшественником для ценных технических культур (хлопчатник, табак). Пожнивная озимая культура шамболы встречается во Франции».

Ясно, что культуру этого растения интересно испытать в Средней Азии путем как подсева под хлопок, так и посева после летних культур.

Для южных республик (Таджикистан и Туркмения) представляет интерес александрийский клевер, широко распространенный в Египте, где он занимает свыше 600 000 га.

Если бы удалось найти бобовое, которое можно подсевать под хлопчатник по способу В. Г. Петрова, то этот прием можно было бы проводить методически и тем обеспечить хорошие урожаи хлопчатника даже в периоды *полного отсутствия минеральных удобрений*. Предположим (ради краткости обозначения), что этим озимым азотособирателем будет па-

---

9* В. Н. Серпухова. Пажитник (шамбола).— Растениеводство СССР, т. 11, Изд. ВИРа, 1938, стр. 475, 476.

житник, тогда этот гипотетический севооборот принял бы такой вид: 1) ячмень с подсевом люцерны, 2) люцерна, 3) люцерна, 4 и 5) хлопчатник+пажитник, 6) хлопчатник+озимь, 7) озимь+летние пожнивные культуры+пажитник, 8 и 9) хлопчатник+пажитник.

Нужно думать, что пять посевов пажитника и три года люцерны (даже если принять во внимание только ее корневые остатки) могли бы обеспечить достаточным количеством азота шесть урожаев хлопчатника. Можно идти еще дальше в предположениях и допускать, что пара «хлопчатник +пажитник» может повторяться без ущерба не только два года подряд, но и больше, что позволило бы увеличить процент площади под хлопчатником без снижения его урожаев, но для этого нужно иметь в руках такой сидерат (будет ли это пажитник, или инкарнат, или «александриец»), который мог бы с успехом подсеваться с осени под хлопчатник и накоплять к весне в зеленой массе около 100 кг азота.

И после войны, когда минеральные удобрения опять будут в изобилии, *необходимо* все-таки *сохранить культуру* зимних азотособирателей, тем более что их можно использовать не только на зеленое удобрение, но и для зимней подкормки скота, особенно молочного, которого в Средней Азии так мало и который так нуждается в белковых кормах. Вообще с помощью озимых культур (как злаковых хлебов, так и бобовых) важно использовать ту добавочную солнечную энергию, которая в Средней Азии довольно обильно притекает не только осенью, но и весной (до посева хлопчатника), но уловить которую может как следует только растение, еще с осени заготовившее ассимилирующую поверхность.

Как мы уже отмечали, прием «вдвигания» одной культуры в другую в орошаемом земледелии должен найти широкое применение. Так, не только «третья культура» (озимое бобовое) и вторая культура (летняя, следующая за озимой) может быть подсевной; именно опыт Армении показал, что сахарная свекла в начальный период своего развития хорошо выносит притенение и при весеннем подсеве под хлеба дает значительно бóльшие урожаи, чем пожнивная свекла, даже посеянная в начале июня [10*].

Если бы имелся подходящий азотособиратель, то можно бы решиться поставить опыт применения египетской системы однопольного плодосмена, т. е. в подходящих условиях занимать 100% площади хлопчатником на лето и 100% бобовыми на зиму, и тогда проверить, будет ли в этих условиях проявляться заболевание вилтом и размножаться другие вреди-

---

[10*] Сахарную свеклу в качестве подсевной культуры мы считаем важной не для заводской переработки (для этого лучше использовать свеклу беспокровного посева), но для продовольственных целей, так как в орошаемом хозяйстве юга сахарная свекла легко дает 400 ц корней, что по сумме питательных веществ отвечает 100 ц зерна, т. е. по продуктивности даже подсевная сахарная свекла в условиях Средней Азии раза в четыре превосходит зерновые культуры, а по приспособленности к жаркому климату сахарная свекла стоит гораздо выше картофеля, который на юге обычно страдает от вырождения.

тели хлопчатника. Здесь требуется немало исследовательской работы, но надлежащее разрешение задачи может оказаться очень благоприятным.

Но вопрос о зеленом удобрении требует пересмотра не только в субтропиках, но и на севере. Как известно, вывозка навоза на поля является вообще трудной не только в военное время [11*], и из-за этого намечается стремление вносить его преимущественно под овощные культуры (или вообще на близкие к усадьбе участки).

Поэтому мы считаем необходимым для полевых площадей (и особенно их отдаленной части) перейти к усиленному применению того же заменителя навоза, который не требует вывозки,— зеленого удобрения, но при одном существенном изменении, именно при выборе другого «зеленоудобрителя», чем раньше рекомендовавшийся.

Известно, что главным препятствием к распространению этого приема, столь хорошо изученного нашими опытными станциями (во главе с Новозыбковской), всегда служил недостаток семян Lupinus angustifolius, который теперь будет особенно острым.

Нужно признать, что обычно применяемый однолетний люпин является слишком крупносемянным. Поэтому приходится доводить норму высева до 180—200 кг на гектар, и это количество затрачивается на получение только одного укоса зеленой массы, так что каждый год эта статья расхода должна повторяться. Кроме того, к северу от Москвы, где семена этого люпина не вызревают, еще возникает надобность в заметных расходах (и организационных мероприятиях) по транспорту семян.

Поэтому следует, не оставляя заботы о размножении семян однолетнего люпина, использовать также и мелкосемянный многолетний люпин, у которого отношение между количеством семян и получаемой за их счет зеленой массой раз в 35 или 45 выгоднее, чем у однолетнего, так как для высева на гектар требуется в этом случае раз в шесть меньше семян (30 кг).

Кроме того, при подсеве под овес, предшествующий пару, этот люпин зацветает гораздо раньше однолетнего и дает большую массу.

Культура этого люпина на семена возможна и на севере, вплоть до Архангельска. Первоначально предполагалось выписать семена из Канады, но, ввиду трудности получения оттуда значительных количеств этих семян, автором предложен был способ форсированного размножения их у нас, для чего семена, собранные на севере в июле-августе, должны тотчас же перевозиться на юг (например, на Кубань) для широкорядного посева в сентябре или начале октября с применением мотыжения. В этом случае можно высевать 4—5 кг на гектар, а собирать 4—5 ц семян, т. е. получать урожай сам-сто. Тогда каждый центнер, посеянный там в 1944 г., даст (при должной культуре) 100 ц в 1945 г., 10 000 ц в 1946 г.

[11*] См. сказанное выше о затруднениях для автотранспорта и о недостатке конной тяги.

и т. д., таким путем можно быстрее размножить семена люпина, чем восстановить животноводство в освобожденных от оккупантов областях.

В 1944 г. Наркомзем СССР, по предложению автора, отправил около 10 ц свежесобранных семян люпина в Краснодар для высева в сентябре-октябре, с тем чтобы получить урожай семян в начале лета 1945 г., а не через два года, как бывает при весеннем посеве на севере.

В качестве примера благоприятного влияния этой новой формы зеленого удобрения приведем данные агронома Кондратова для Смоленской области, где при трехлетних опытах подсева многолетнего люпина под овес и запахивании цветущей массы под рожь получены были такие средние данные (в ц):

	Озимая рожь	Картофель (последействие)
Контроль	8,4	87,4
Навоз 18 т	12,3	151,6
Навоз 36 т	15,9	168,3
Люпин многолетний	15,0	176,8

Очень благоприятные результаты с этим люпином получены были также на Менделеевском опытном поле (Пермская область) и на Судогодской опытной станции ВИУАА (Ивановская область).

Чем скорее удастся распространить культуру многолетнего люпина для запахивания на удобрение в паровом клину, тем более будут смягчены последствия недостатка навоза, всегда наблюдающегося у нас, но особенно обострившегося из-за событий военного периода.

Вопрос о более полном использовании навоза (и других местных ресурсов) является общим для всего Союза. Мы видели выше, какой громадный дефицит получается в балансе прихода и расхода питательных для растений веществ в почве вследствие недостаточной вывозки даже имеющегося навоза, не говоря о недостаточной его продукции, из-за незавершения перехода к правильным севооборотам.

В будущем осуществление этого перехода позволит достигнуть высокого уровня снабжения населения и другими сельскохозяйственными продуктами, о которых мы говорили выше, при условии, что технические культуры будут обеспечены минеральными удобрениями. Здесь мы приведем примерный план некоторого идеального построения на 1957 (или 1962) год, при котором не только получим обильное снабжение сельскохозяйственными продуктами, но и плодородие почвы будет возрастать, так как баланс прихода и расхода питательных веществ в почве будет сводиться не только не хуже, а даже несколько лучше, чем в странах, вступивших на путь прогрессивного поднятия урожаев. При этом предполагается, что главным источником азота будет азот бобовых.

После перестройки севооборотов мы будем иметь под посевами клевера и люцерны около 27 млн. га, и можно рассчитывать, что из 8 200 тыс. т азота, выносимого будущими урожаями (вместо современных 5000 тыс. т), половина должна доставляться азотособирателями, т. е.

4100 тыс. т. Из этого количества, в свою очередь, половина будет находиться в почве (в корневых остатках), а половина перейдет вместе с сеном в навоз. Количество навоза, вывозимого на поля, намечается в 700 млн. т; основание подсчета: 1) количества кормов и подстилки, 2) размеры поголовья по подсчетам зоотехников, 3) допускается, что от подсчитанного количества 70% будет вывезено на поля (неполнота вывозки навоза против 70% должна быть покрыта посевами люпина, поэтому азот люпина не ставится в приход в качестве отдельной статьи).

Размеры химической промышленности определяются потребностью в минеральных удобрениях для 20 млн. га ценных культур (без хлеба). Тогда баланс на 1957 г. получает следующий вид:

	Азот		Фосфор		Калий	
	в тыс. т	в %	в тыс т	в %	в тыс. т	в %
Выносится урожаем	8200	100	4200	100	10250	100
Возвращается:						
с навозом (700 млн. т) и отбросами	3500	42,7	1750	41,7	4200	41,0
с минеральными удобрениями	1300	15,9	2450	58,3	1900	18,5
с корневыми остатками бобовых	2050	25,0	—	—	—	—
Итого:	6850	83,6	4200	100	6100	59,5
Дефицит	1350	16,4	—	—	4150	40,5
То же (в кг/га)	8		0		24	

Из цифр этой таблицы вытекает, что даже при принятом дифференцированном подходе (поднятие урожаев хлебов за счет клевера, навоза и зеленого удобрения и только технических культур — с помощью также и минеральных удобрений) все-таки нам потребуется очень мощная химическая промышленность. Именно производство минеральных удобрений должно достигнуть к тому времени очень крупной цифры в 24 000 тыс. т, т. е. половины мировой продукции.

Чтобы встретить этот мощный поток удобрений должным образом, необходимо позаботиться о должной постановке дела исследования и дела подготовки кадров. Прежде всего должен существовать мощный институт специально по вопросам химизации (а не с несколькими заданиями одновременно, как теперь ВИУАА), с сильно развитыми лабораториями, специальным опытным полем и географической сетью опытов (но не на добровольных началах, т. е. без всякого ассигнования, как теперь, а с твердым финансированием). Должны быть восстановлены агрохимические отделы на областных опытных станциях, с тем чтобы через них головной институт руководил низовой сетью до агрохимических лабораторий в МТС включительно. Должен быть особый журнал для научных работников по агрохимии, подобно тому как существуют журналы «Биохимия», «Микро-

биология», «Почвоведение» (помимо журнала широкого назначения для агрономов-химизаторов). Подготовка агрохимиков в вузах должна быть поставлена так, чтобы у студента-агрохимика действительно было время для работы по агрохимии, и кроме агрохимиков для МТС должны готовиться еще и агрохимики прежнего университетского типа для работы на опытных станциях (и при кафедрах вузов); тогда будут изжиты ненормальности в деле химизации земледелия, вроде того, что некоторые колхозные «агрономы» вносят азот, фосфор и калий на разные поля, чтобы в отчетных ведомостях показать большую площадь охвата химизацией, не подозревая, что они этим снижают эффективность туков, дорого стоящих государству.

В заключение отметим еще одну цель, которой должно отвечать намеченное нами построение баланса.

Кроме достижения намеченной нами высоты урожаев на 1957—1962 гг. и прогрессивного роста их в дальнейшем, этот план развития туковой промышленности должен вполне обеспечить еще и химическую оборону Союза, так как предположенный размер химической продукции значительно превышает сумму вероятной продукции Германии и Японии, вместе взятых. Дело в том, что намеченный рост продукции в СССР еще не означает насыщения сельского хозяйства туками, тогда как в названных странах отсутствуют основания для дальнейшего крупного роста химической промышленности в будущем, вследствие значительного насыщения туками современной посевной площади и недостатка в земельных ресурсах для расширения этой площади. У нас же помимо возможности расширения пашни, остается, даже в пределах существующей посевной площади, громаднейший простор для расширения применения удобрений в будущем, это — площадь под зерновыми хлебами. Если современное соотношение цен невыгодно для применения азотистых удобрений под хлеба, то оно может быть изменено путем соответствующих правительственных мероприятий. А когда азотная продукция будет обслуживать и хлеба, размеры нашей азотной промышленности превзойдут по мощности не только суммарную мощность заводов Германии и Японии, но они могут конкурировать и с мировой промышленностью, если бы это оказалось нужным.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ АГРОХИМИИ [40]

О НОРМАЛЬНЫХ СМЕСЯХ ДЛЯ ПЕСЧАНЫХ И ВОДНЫХ КУЛЬТУР *

ПЕРВЫЙ ПЕРИОД ИССЛЕДОВАНИЯ

С самого начала наших опытов по изучению усвояемости различных фосфатов в песчаных культурах (1896 г.) нам пришлось натолкнуться на то обстоятельство, что так называемые «нормальные» смеси Кнопа и Гельригеля не всегда выполняли свое назначение — служить нормой для сравнения усвояемости разных фосфатов; так, нередко наблюдалось, что растения, хорошо использующие фосфорит (как гречиха и люпин), развивались хуже на смеси Гельригеля, чем в случае замены в этой смеси кислого фосфата калия комбинацией фосфорита с какой-нибудь нейтральной солью калия.

В сущности, развитие на смеси Гельригеля не было плохим, и если бы рядом стоящие культуры на фосфорите не развились еще лучше, то мы бы и не знали, что нормальные культуры оказались не на должной высоте.

Потребность иметь стандарт для сравнения разных источников фосфора заставила искать путей к дальнейшему улучшению нормальных смесей. Мы могли предполагать, что в смеси Гельригеля имеются две особенности, которые могли быть не для всех растений одинаково переносимыми: 1) излишняя кислотность первоначальной реакции (как теперь известно, она отвечает pH 4, даже 3,7 в зависимости от некоторых условий); 2) излишнее накопление оснований в растворе по мере усвоения азотной кислоты и обогащения раствора двууглекислым кальцием, причем, кроме самой реакции раствора, на развитии растения может отражаться затрудненное поступление железа и фосфорной кислоты.

Поэтому у нас являлось опасение, что одностороннее введение $Ca(NO_3)_2$ в качестве источника азота также может мешать выявлению истинной способности растений использовать труднорастворимые фосфаты. Но если это затруднение могло быть обойдено благодаря методу «изолированного питания», что вскоре и было сделано, то для разреше-

---

* Печатается по тексту Юбилейного сборника, т. II. «Работник просвещения». М., 1928, стр. 491. Впервые опубликовано в Юбилейном сборнике, посвященном И. П. Бородину. Изд. Русск. бот. об-ва. Л., 1927, стр. 333—348.

ния вопроса о стандарте все-таки нужно было заняться нормальными смесями.

Чтобы не вводить кислых солей вначале, мы перешли в 1900 г. к опытам с заменой кислого фосфата калия двух- и трехзамещенными фосфатами кальция, при одновременной замене одностороннего нитратного питания смешанным (нитратно-аммиачным) питанием, в целях регулирования реакции среды. Так как в это время не было достаточных данных относительно сравнительной скорости поступления аммиака и нитратов, то были испытаны различные отношения между азотом нитратным и аммиачным, а именно: 1 : 0, $^3/_4$:$^1/_4$, $^1/_2$:$^1/_2$, $^1/_4$:$^3/_4$, 0 : 1. Опыты эти обнаружили** неожиданное для того времени обстоятельство — наличность физиологической кислотности в смесях, содержавших равные количества NH_4^+ и NO_3^- (и даже $^3/_4NO_3^-$ и $^1/_4NH_4^+$),— в этих случаях наиболее трудно растворимые фосфаты (апатит) становятся доступными растениям с наименьшей растворяющей способностью корневой системы (злаковым).

В 1901 г. наилучшие результаты получились при комбинации $NH_4NO_3+CaHPO_4$; на основании этого мы стали пользоваться в дальнейшем наряду с нормальными культурами, по Гельригелю, также и новой смесью, в которой легкая (как тогда нам казалось) физиологическая кислотность азотнокислого аммония должна была уравновешиваться некоторым избытком основания в двукальциевом фосфате. Рецепт смеси дан был следующий: NH_4NO_3 — 0,240 г, $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ — 0,172, KCl — 0,150, $MgSO_4$ — 0,60, $FeCl_3$ — 0,025, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ — 0,344 г на килограмм песка (при этом количества всех элементов совпадают с нормами Гельригеля, кроме серы, которой вводится больше из-за стремления довести количество кальция до нормы Гельригеля, что, вероятно, не необходимо).

Сначала мы называли новую смесь «нейтральной смесью»; но затем, ввиду осложнения вопроса о конечной реакции раствора, ее стали называть «смесью Прянишникова», хотя автор не делал в то время особого

** См. подробнее в III выпуске наших отчетов «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», а также «Известия МСХИ» (1900). Первоначально мы считали нужным проверить, не вызывается ли некоторый сдвиг в сторону кислотности и разложение фосфорита деятельностью нитрификаторов, хотя мы работали в песке, промытом крепкой кислотой, при поливке растений дистиллированной водой; в этих условиях энергичная нитрификация не может наступать быстро, а разница в развитии растений обнаруживалась в начале опыта; но опыты со стерильными культурами, поставленные у нас и затем с еще большей тщательностью проведенные П. С. Коссовичем, показали, что то же самое происходит и при полном отсутствии бактерий (см. наш IV отчет «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», а также «Журнал опытной агрономии», 1904). К вопросу о том, является ли роль NH_4NO_3 в деле растворения фосфатов растением пассивной или активной, относятся опыты с разделением корней, проведенные, по предложению автора, И. С. Шуловым (см. статьи Шулова в «Журнале опытной агрономии» за 1902 г. и обзор автора в Landw. Versuchstationen, Bd. 56, 1901 и Bd. 65, 1906).

о ней сообщения, выжидая получения данных с разными растениями и в разной среде (не только песчаной, но и водной).

В песчаных культурах часто результаты на новой смеси получались лучшие, чем на смеси Гельригеля, или равные с ней, но иногда соотношения были обратные; так, для 1904 г. могут быть приведены следующие данные:

	Смесь Гельригеля (в г)	Смесь Прянишникова (в г)
Овес		
опыт 1	25,8	29,3
опыт 2	22,3	22,6
опыт 3	30,4	31,2
Просо	23,3	17,2
Подсолнечник	14,2	23,0

Неодинаковость результатов для разных растений требовала изучения вопроса о смесях, но более систематическое изучение его мы смогли организовать только несколько лет спустя (в периоды 1911—1917 и 1922—1926 гг.).

Интересно, что в те же годы, как и наша смесь, появилась смесь Кроне (1903), но мы узнали о ней позднее [3*] и привлекли ее к сравнению с другими смесями лишь начиная с 1911 г., когда в нашей лаборатории М. Ф. Арнольдом проведено было сравнение трех смесей — Гельригеля, Кроне и Прянишникова; но так как опыты Арнольда относятся к водным культурам, то мы скажем о них ниже, а пока продолжим сообщение данных по песчаным культурам.

В 1912 г. И. С. Шулов [4*] наблюдал в стерильных культурах кукурузы и гороха большее поступление в растения аммиака, чем азотной кислоты из азотнокислого аммония, по крайней мере в первую половину жизни растений; таким образом, к косвенным доказательствам физиологической кислотности NH_4NO_3 присоединилось и прямое.

В 1914 г. в опытах А. А. Стольгане [5*] изучалось поступление питательных веществ в растение из трех смесей (Гельригеля, Прянишникова, Кроне), причем растения анализировались в четырех различных стадиях; ход поступления был близок для первых двух смесей; для смеси Кроне наблюдалось более затрудненное поступление фосфора, но без ущерба для высоты урожая (урожай был почти равный для всех трех смесей).

В 1915 г. у нас изучалось в песчаных культурах влияние рода смеси на поведение растений при повторных посевах; оказалось, что

[3*] Сообщение Кроне было помещено в малораспространенном органе, и только Бенеке осведомил о нем более широкие круги ботаников и агрохимиков.

[4*] Исследование по физиологии питания высших растений и т. д. М., 1913.

[5*] Часть данных сообщена в работе И. В. Якушкина (см. «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», т. X), другая же часть (1916 и 1917) осталась ненапечатанной.

урожай последующих посевов был тем ниже, чем больше была щелочность раствора, оставшегося от предыдущего посева; например, для люпина:

	Смесь Прянишникова	Смесь Гельригеля	Смесь Кроне
Щелочность (в мл)	1,09	1,37	1,95 *
Урожай следующего посева (в г)	19,6	16,5	14,2

* Титрование 100 мл вытяжки из песка децинормальной кислотой с метилоранжем (см.: Жемчужников. Зависимость между урожаем и реакцией среды.— «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», т. X, 1916).

В те же годы (1913—1917) у нас ставились многочисленные опыты по сравнению различных смесей в песчаных культурах под различные растения, причем мы не ограничивались типичными смесями, но варьировали их компоненты, переставляя их из одной смеси в другую; благодаря этому число испытуемых смесей достигло 15, что в связи с разнообразием растений повлекло за собой значительное усложнение опытов.

При перестановках главных компонентов в «гибридных смесях» обнаруживалось своего рода «сцепление признаков», причем наиболее сопряженными в изучаемых трех типах оказались, как и следовало ожидать, две составные части — источник азота и источник фосфора:

I. Гельригель	II. Прянишников	III. Кроне *
$Ca(NO_3)_2$	NH_4NO_3	KNO_3
KH_2PO_4	$CaHPO_4$	$Fe_3(PO_4)_2$

* Смесь Кроне содержит еще $Ca_3(PO_4)_2$; но правильнее изучать отдельно эти два источника фосфора (что отчасти у нас и сделано, см. ниже).

Перестановка фосфатов из первой смеси во вторую (и наоборот) действует гибельно на растения; например, для смеси II:

Урожай	Двухзамещенный	Кислый фосфат
Просо	32,9	5,0
Лен	15,0	4,5
Рыжик	13,9	0 (растения погибли)

Введение же $Ca_3(PO_4)_2$ в этом случае действовало благоприятно. Таким образом, в этой смеси близко лежит граница избыточной кислотности.

Обратное имеем для смеси I, если ввести в нее следующие фосфаты:

Урожай	Кислый	Двухзамещенный	Трехзамещенный фосфат
Овес	13,7	6,1	6,7
Пшеница	9,2	4,8	5,4
Просо	16,1	–	5,8

С $Ca(NO_3)_2$ совместим, таким образом, только кислый фосфат. Точно так же в смеси Кроне комбинацию $KNO_3+Fe_3(PO_4)_2$ нельзя считать случайной (хотя Кроне ничего об этом не говорит): слабая щелочность, остающаяся от использования растениями KNO_3, благоприятная для переведения в раствор фосфорной кислоты из фосфорнокислого железа (в то время как слабая кислотность для этого не благоприятна) [6*].

Если же в смеси Кроне ввести в качестве источника фосфора только $Ca_3(PO_4)_2$, исключив $Fe_3(PO_4)_2$, но сохраняя в качестве источника азота KNO_3, то чрезвычайно благоприятно сказывается на результат введение значительных количеств гидролитически кислой соли $Fe_2(SO_4)_3$. Это наблюдал первоначально Ф. В. Чириков, а затем в течение нескольких лет проследил И. В. Якушкин; такая смесь превосходит по результатам смесь Кроне; вот примеры из опытов 1913 и 1914 гг.:

	Просо	Гречиха	Люпин
Кроне оригинальная	33,3	11,8	21,7
Вариант Чирикова – Якушкина	48,2	17,8	26,5

Не входя здесь в рассмотрение всего многообразия результатов, полученных в период 1911—1917 гг., отметим лишь главные из наметившихся различий между растениями [7*], разделив их приблизительно на следующие группы:

1. Смесь Прянишникова давала лучшие результаты, чем другие смеси: регулярно — в опытах с рыжиком, часто — в опытах со льном, нередко — с маком и просом.

2. В ряде случаев эта смесь по высоте всего урожая была близка к Гельригелевской, но обе названные смеси уступали смеси Кроне (опыт с пшеницей, овсом, ячменем, кукурузой, могаром, турнепсом, свеклой, картофелем). Но отношение зерна к соломе нередко было выше по смеси Прянишникова, чем Кроне и особенно — Гельригеля.

3. В случае гороха, люпина, частью подсолнечника, смеси Кроне и Гельригеля давали бóльшие урожаи, чем смесь Прянишникова.

[6*] Из опытов Ф. В. Чирикова следует, что введение NH_4NO_3 в присутствии фосфата железа действует неблагоприятно на рост растений: введение мела его улучшает (см. «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», т. XI).

[7*] Некоторые из этих различий не вполне повторяются в разные годы: в рассмотрение причины этих колебаний здесь не будем входить из экономии места.

Все вышесказанное относится к песчаным культурам; но *на водные культуры данные песчаных культур в этом случае нельзя было непосредственно переносить*. У нас опыты сравнения смесей в водных культурах начаты были в 1911 г. М. Ф. Арнольдом и продолжались в 1914 г. А. А. Стольгане [8*].

Здесь приведем только следующее сопоставление из последней работы, как давшей наиболее неблагоприятные результаты для изучаемой смеси:

	Гельригеля	Прянишникова	Кроне
Урожай ячменя			
Песчаные культуры	11,7	11,3	11,4
Водные культуры	11,3	2,6	12,4

Что касается причин различий между поведением изучаемой смеси в песчаных и водных культурах, то постепенно стали накопляться данные, говорящие о большем сдвиге реакций в сторону кислотности в водных культурах; так, введение кислого фосфата в присутствии NH_4NO_3 сказывается в водных культурах еще более резко на развитии растения, чем в песчаных культурах.

Тогда у нас возникла мысль, не влияют ли явления адсорбции песка изменяющим образом на состав смеси, в особенности смягчая отклонение смеси от нейтральной реакции. Для проверки этого предположения мы начали опыты с более энергичным адсорбентом — с углем. Оказалось, что введение в песок тонко измельченного угля обезвреживало такие отклонения в сторону кислотности и щелочности, которые даже в песчаных культурах без этой меры подавляли развитие растений. Вот немногие примеры из ряда опытов, проведенных И. В. Якушкиным и другими лицами в 1916 г. (урожай в г на сосуд):

Культура	Вариант	Смесь Гельригеля	Смесь Прянишникова	Смесь кислая *	Смесь щелочная *
Ячмень	Без угля	17,1	22,0	16,6	16,5
	С углем	–	32,7	33,5	29,5
Овес	Без угля	16,4	–	6,5	12,2
	С углем	31,8	–	25,7	25,9
Рожь	Без угля	–	13,0	14,4	8,3
	С углем	–	18,8	15,9	17,5

* Под кислой смесью разумеется смесь Гельригеля с заменой азотнокислого кальция азотнокислым аммонием, а под щелочной смесью — смесь Гельригеля, в которой половина $Ca(NO_3)_2$ заменена азотнокислым калием.

[8*] См. «Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ», т. VIII и X, а также «Известия МСХИ» за 1913 и 1916 гг.

Таким образом, уголь способен смягчать вредное действие как щелочной, так и кислой реакции, что согласно с данными относительно способности угля поглощать с гораздо большей энергией ионы H^+, OH^-, чем соли (см. примеры у Михаелиса в кн. «Die Wasserstoffionenkoncentration»). Для песка, конечно, нельзя ожидать той же степени влияния, однако некоторое его наличие все же заведомо нужно признать, исходя уже из одного того факта, что растения переносят в песчаных культурах гораздо большую концентрацию солей, чем в водных.

Дальше этих общих предположений в тот период мы не успели пойти, а после 1917 г. работы по смесям приостановились до 1922 г.

За этот промежуток в Америке появилось несколько работ на близкие к нашим темы, а именно: Волкова (1918), Гартвела и Пембера (1918), Гогланда (1919), Дуггара (1920) и другие, которые нам стали известны лишь позднее. В этих работах встречаются нитратно-аммиачные смеси (например, у Волкова), однако без использования буферного действия фосфатов. Кроме того, в этих работах внимание сосредоточено на культурах в сменных растворах, что является в сущности уже отказом от осуществления задачи, нас интересующей, в связи с нашими работами с труднорастворимыми источниками фосфора и калия (фосфориты, калийные минералы), вводить которые в сменные растворы неудобно.

Мы, в свою очередь, не раз пользовались сменными растворами, но не в отмену, а в дополнение к опытам с однократным введением солей; так, в 1918 г. Е. В. Бобко и О. И. Соколовой изучалось отношение бобовых и злаковых к солям аммония в растворах, сменных и бессменных. Этот опыт имел специальную цель — проверить возникавшее у некоторых авторов предположение, что в растворах $(NH_4)_2SO_4$ растения страдают не от остающейся серной кислоты, а от самого аммиака; если бы это было верно, то смена раствора не могла бы улучшить рост растений, на деле же это имеет место; но смена раствора раз или два в неделю оказалась недостаточной.

ВТОРОЙ ПЕРИОД (1922—1926 ГГ.)

Только с 1922 г. удалось восстановить прерванное в 1914 г. правильное получение иностранной литературы и начать применять те чувствительные методы определения реакции среды, без которых мы раньше не могли количественно измерить изменения, какие претерпевают различные питательные смеси под влиянием тех или иных растений. Опыты, произведенные в 1922 г. П. Р. Купреенко, показали, что растения чрезвычайно быстро изменяют реакцию растворов, содержащих аммиачные соли; так, взрослые растения за сутки снижали pH раствора с 6,2 до 3,9; последующие опыты М. К. Домонтовича со студентами Прянишниковой и Драчевым показали, что в этом отношении NH_4NO_3, главная составная часть нашей питательной смеси, при краткосрочных опытах

Таблица 1

Возраст растения (в днях)	Продолжительность опыта (в часах)	Соль аммония	pH		Поглощено (в % от введенного количества)	
			до опыта	после опыта	NO_3	NH_4
			Овес			
22	2	NH_4NO_3	5,8	4,8	5,0	27,9
22	2	NH_4Cl	5,9	4,6	—	29,5
13	2	NH_4NO_3	5,4	5,4	18,3	51,5
14	2	NH_4NO_3	6,4	6,2	0	18,3
28	2	NH_4NO_3	6,4	6,3	0	22,6
			Горох			
20	2	NH_4NO_3	5,4	4,8	0	7,7
20	2	NH_4Cl	5,3	4,4	—	11,0
20	4	NH_4NO_3	5,4	4,8	0	33,7
30	3	NH_4NO_3	6,4	5,5	19,3	61,5
30	3	NH_4NO_3	6,2	5,3	0	23,1
14	2	NH_4NO_3	6,2	6,4	0	26,1

ведет себя подобно NH_4Cl. Так, в 10-дневных опытах с изолированными проростками кукурузы получились следующие данные:

pH исходного раствора	pH после опыта
7,0	3,7
6,9	3,7
4,4	3,8

Таким образом, физиологическая кислотность NH_4NO_3 оказалась гораздо более резко выраженной, чем мы раньше предполагали; даже подкисление раствора соляной кислотой до pH 4,4 не мешает растению еще дальше подкислять раствор.

В опытах, проведенных на свету с более сильными растениями, удается уже через 2—3 часа наблюдать изменение реакции и аналитически констатировать более сильное поглощение аммиака по сравнению с азотной кислотой. Опыты с ассимилирующими растениями ставились таким образом, что сначала растения выращивались в полной питательной смеси, но за сутки до опыта переносились в дистиллированную воду, а перед самым опытом корни еще тщательно обмывались дистиллированной водой. В этом случае все опыты были краткосрочные (2 часа, иногда 3 или 4), поэтому культуры можно считать равнозначными сте-

рильным; концентрация растворов обычно бралась в тех же пределах (0,001—0,0005 норм). Приведем примеры из опытов с овсом и горохом (табл. 1).

Далее, в опытах М. К. Домонтовича 1923 г. прослежено было влияние различных соотношений между NH_4^+ и NO_3^- на изменение реакции среды растением; мы приведем здесь только данные для конечной реакции раствора в опыте с кукурузой (исходная реакция была во всех случаях 4,7; источник P_2O_5 — KH_2PO_4):

Отношение NO_3 : NH_4 (в эквивалентах)	1:0	3/4:1/4	1/2:1/2	1/4:3/4	0:1
pH в конце опыта	6,3	4,0	3,4	3,0	2,8

Таким образом, даже при отношении нитратного азота к аммиачному, равном 3:1, подкисляющее влияние соли аммония взяло верх над подщелачивающим влиянием селитры [9*]; но все же в этом случае отклонение конечной реакции от исходной было наименьшим. При равных количествах азота в виде $NaNO_3$ и NH_4Cl (что отвечает введению NH_4NO_3) реакция достигала pH 3,4, но здесь (в длительном опыте на свету) питание одним NH_4Cl дало еще более низкое pH (2,8), чем в случае NH_4NO_3, в отличие от краткосрочных опытов, что вполне отвечает тому факту, что в случае HNO_3 мы имеем дело только с запозданием ассимиляции по сравнению с NH_3, а в случае HCl — с отсутствием таковой.

Подобные опыты были продолжены с разными растениями (овсом, кукурузой, горохом, викой, фасолью, гречихой), причем направление изменений реакции было одинаковым для всех растений, но степень изменений была, например у гречихи, иная, чем у злаков. Это растение не столь резко подкисляло растворы NH_4NO_3 и NH_4Cl и в то же время не в той мере подщелачивало раствор $NaNO_3$, как это делали злаки.

Различен был также тот нижний предел pH, при котором растение гибнет от кислотности, вызванной деятельностью самого растения; так, бобовые погибали при pH, равном 3,9—3,6; овес — при 3,3; кукуруза — при 3,0—2,9.

Оптимальная реакция раствора, как известно из работ Аррениуса и других авторов, для разных растений также неодинакова, что вместе с разной амплитудой возможных отклонений является одним из факторов, вызывающих разнообразие результатов с одной и той же питательной смесью при разных растениях. В частности, в нашей лаборатории по вопросу об оптимальной реакции и допустимых от нее отклонений работали Домонтович, Зарубина и Рудельсон [10*].

Кроме отношения растений к отдельным смесям и их компонентам,

---

9* Это объяснило факт, установленный нами еще в 1900 г., что достаточно дать одну четверть азота в виде аммиачной соли, чтобы фосфорит стал доступен для всех растений.

10* См. статьи М. К. Домонтовича в «Научно-агрономическом журнале» за 1924 г.

у нас в этот период изучались некоторые свойства самих смесей и их возможного взаимодействия с тем песком, который мы употребляем в песчаных культурах. Сюда относятся работы М. К. Домонтовича по изучению буферного действия смесей Гельригеля и Прянишникова. Для той и другой смеси были получены кривые титрования (см. рисунок в «Научно-агрономическом журнале», 1925, № 1). Смесь Гельригеля имеет исходное pH около 3,6 — 3,7 благодаря содержанию KH_2PO_4 и $FeCl_3$ в интервале pH 5 и ниже, буферное действие ее незначительно (поэтому растения, питающиеся нитратами, вначале легко повышают pH), но в интервале pH 6,6—7,0 проявляется наибольшее буферное действие этой смеси. В смеси Прянишникова исходная реакция близка к нейтральной, в ней сказывается ясное буферное действие против подкисления раствора: для доведения pH до 4,0 нужно прибавить около 1,0 мл децинормальной кислоты на 100 мл раствора. Отмечая наличность буферного действия, М. К. Домонтович полагает, что для водных культур будет полезно это действие еще повысить, вводя большие количества $CaHPO_4$. Такое предположение подтвердилось последующими опытами, но при этом получается переход к иному критерию для суждения о достаточности дозы фосфата, чем размеры потребности растения в фосфорной кислоте.

Опыты по взаимодействию между различными смесями и песком были поставлены, по нашему предложению, О. В. Зарубиной в связи с вопросом о причинах несовпадения между данными водных и песчаных культур для нашей смеси. Как мы упоминали, указания на больший сдвиг реакции в водных культурах в сторону кислотности у нас имелись давно.

После того как обнаружилась еще более сильная физиологическая кислотность NH_4NO_3, чем мы раньше предполагали, мы стали искать объяснения этого несовпадения в следующих обстоятельствах:

1. В водных культурах, в отличие от песчаных, имеет место пространственное разъединение главной массы NH_4NO_3, находящегося в растворе, и $CaHPO_4$, находящегося в осадке; так как перемешивание раствора при продувании производится только раз в сутки, а заметный сдвиг реакции развитое растение вызывает уже через 2—3 часа, то возможно, что при медленности диффузии около корней создается кислая среда, несмотря на нахождение на дне осадка.

2. В песчаных культурах может проявляться влияние адсорбции, хотя и не столь сильное, как в случае угля, но все же совершенно отсутствующее в водных культурах; в связи со стремлением учесть это влияние и были проведены упомянутые опыты О. В. Зарубиной, состоявшие в следующем: кварцевый песок, который употребляется у нас для песчаных культур, после промывания крепкой соляной кислотой и водой приводился в соприкосновение с питательными смесями, и в них определялись анионы и катионы находившихся в растворе солей до соприкосновения с песком и после, причем испытаны были разные соотношения между песком и растворами, в том числе и те, что имеют место

в песчаных культурах (в последнем случае раствор вытеснялся спиртом по способу Ищерекова). Однако подробный анализ не обнаружил какого-либо иного отношения песка к составным частям смеси, содержащей NH_4NO_3, по сравнению с другими смесями, что могло бы объяснить столь существенную разницу между водными и песчаными культурами, наблюдаемую только при этой смеси. Но если предположение о заметном влиянии адсорбции на состав раствора не нашло подтверждения в этих опытах, то они обнаружили следующее новое обстоятельство.

3. Наш «кварцевый» песок, промытый кислотой, оказался способным несколько изменять реакцию кислых растворов; так, смесь Гельригеля, имевшая исходную реакцию, отвечающую pH 3,92, после соприкосновения с песком обнаружила pH 4,76; когда же были приготовлены слабощелочные растворы, то для них перемены реакции не обнаружилось. Объяснение этих буферных свойств песка в кислом интервале мы видим в следующем: при массовом приготовлении песка для культур он промывается после крепкой кислоты сначала простой водой и только потом — дистиллированной, до исчезновения реакции на хлор. Если песок содержит хотя бы очень небольшую примесь силикатов, то под влиянием кислоты могут образоваться продукты их разложения, которые в части нерастворимой должны принадлежать к типу ацидоидов; а так как водопроводная вода содержит бикарбонат кальция, то кальций должен отчасти поглощаться этими ацидоидами и не уходить при промывании дистиллированной водой. С этим объяснением согласуется тот факт, что с нашим песком обычно не удавалось получить в опытах с удалением кальция из питательной смеси настоящих «предельных» растений, в то время как в культурах без калия это удавалось.

4. Опытами Цинцадзе в 1925 г. обнаружено, что биологические процессы наступают гораздо легче и протекают энергичнее в водных культурах, чем в песчаных, причем окисление аммиака не только является новым фактором изменения реакции раствора, но оно сопровождается в данных условиях накоплением нитратов в таких количествах, которые могут вредить развитию растений.

Наша лаборатория для ее основных задач пользуется главным образом песчаными и почвенными культурами, до 1925 г. водными культурами мы занимались лишь попутно; но в 1925 и 1926 гг. им было уделено больше внимания, и вопрос об использовании комбинации NH_4NO_3 с нерастворимыми фосфатами в водных культурах был значительно продвинут вперед.

В 1925 г., подводя итоги [11*] имевшимся тогда данным об особенностях поведения «смеси Прянишникова» в водных культурах по сравнению с песчаными, мы считали нужным испытать два пути для приспособления этой смеси к водным культурам: 1) при том же источнике

[11*] Prjanishnikov, Domontovitch. The problem of proper nutrient medium.— Soil Science, v. 21, № 5, 1926.

$P_2O_5(CaHPO_4)$ увеличивать отношение NO_3 к NH_4 (до 3/4 или 7/8); 2) увеличивать количество основания, вносимого с фосфатами, т. е. испытывать влияние внесения $Ca_3(PO_4)_2$ вместо $CaHPO_4$, что и в песчаных культурах 1913—1916 гг. не раз давало улучшение результата.

Эти два пути намечались в предположении, что остается в силе наша основная предпосылка 1900—1901 гг.— дать только такое количество питательных веществ, какое необходимо для обеспечения растению нормального развития. Возможен третий путь, упомянутый в цитированной выше работе М. К. Домонтовича,— увеличивать количество $CaHPO_4$ (или другого фосфата), выходя из пределов обычных норм P_2O_5 и руководствуясь увеличением буферности смеси в кислом интервале.

Как эти, так и ряд других приемов были с значительным успехом испытаны в 1925 и 1926 гг. в нашей лаборатории.

Опыты 1925 г. были начаты с кукурузой, для которой установлена оптимальная реакция среды, окружающей корни, именно pH 5, а также ее способность легко мириться и с некоторым понижением pH, например до 4,0.

Для определения нижнего предела pH для кукурузы в качестве буфера был взят $Ca_3(PO_4)_2$. Предварительной работой М. К. Домонтовича были установлены следующие градации для буферного действия фосфатов в присутствии NH_4NO_3 (кукуруза в водной культуре): pH раствора $CaHPO_4$ составлял 6,3—5,8; $Ca_3(PO_4)_2$ — 5,4—4,1; $Fe_3(PO_4)_2$ — 4,4—3,9.

Но если $Ca_3(PO_4)_2$, на основании этих данных нужно было признать хорошим буфером для установления нижнего предела pH при подкислении среды самими растениями, то нужно еще было найти регулятор для верхнего предела, если желать, чтобы не только последующая, но и исходная реакция среды отвечала потребностям кукурузы. В качестве такого регулятора взято было $Fe_2(SO_4)_3$, использованное ранее с успехом в опытах Чирикова и Якушкина. На этот раз было подвергнуто систематическому изучению влияние возрастающих доз этой соли на реакцию среды.

Этим понижением pH исходной смеси имелось в виду, кроме приближения к оптимальным условиям развития корневой системы кукурузы, одновременно понизить шансы развития нитрификаторов и избежать накопления нитритов в питательном растворе в последующие стадии опыта.

Основной смесью был взят следующий вариант смеси Прянишникова (но с повышением дозы питательных веществ до норм Кроне):

Постоянная часть смеси (в г/л)		Переменная составная часть смеси
NH_4NO_3	0,396	$Fe_2(SO_4)_3$ в семи различных дозах – от 4,7 до 1668 г/л
$Ca_3(PO_4)_2$	0,464	
$MgSO_4$	0,500	
KCl	0,737	
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	0,500	

В зависимости от дозы железа pH исходной смеси опускалось от 6,1 до 2,8; наилучшие результаты получались при дозе $Fe_2(SO_4)_3$ в 0,41 г на литр с исходным pH 4,4, при максимальном повышении pH во время роста кукурузы до уровня 4,8—5,3 (в разных сосудах); однако реакция держалась в этих пределах только до тех пор, пока на дне сосудов оставался осадок $Ca_3(PO_4)_2$; к концу опыта, когда осадок исчез, pH опустилось до 3,8. Тем не менее «новая смесь» при сравнении с другими дала наилучшие результаты. Рост растений (в см) на смеси Гельригеля составлял 62, на смеси Прянишникова [12*] — 48,5, на смеси Кроне — 36, на смеси Чирикова—Якушкина — 59, на «новой смеси» — 72,5.

Для того чтобы осадок дольше не растворялся, и смесь до конца не подкислялась до степени, неблагоприятной для развития кукурузы, в дальнейшем было испытано увеличение дозы $Ca_3(PO_4)_2$, при сохранении тех же норм для остальных составных частей смеси; тогда получился следующий ряд:

Доза $Ca_3(PO_4)_2$ (в г)	0,46	0,60	0,90	1,20	2,40
Относительный урожай (в %)	100	110	157	100	83

В третьем варианте, давшем наилучший урожай, реакция не опускалась ниже 4,6 pH. К сожалению, в этом опыте абсолютные урожаи невелики вследствие малого объема сосудов; однако если в этих условиях удалось удержать колебания реакции в тесных пределах, то при большом объеме сосудов сделать это, должно быть, тем более возможно.

Наряду с увеличением количества Ca, внесенного в виде фосфата, в 1926 г. был испытан второй из упомянутых выше путей смягчения физиологической кислотности аммиачно-нитратной смеси — именно изменение соотношения NH_4:NO_3 путем некоторого уменьшения дозы азотнокислого аммония и дополнительного введения KNO_3. Хорошие результаты получились при отношении, равном 3 : 4, например: средний вес сухого урожая (в г) при новой смеси составлял 19,8; при добавке 0,6 г $Ca_3(PO_4)_2$ был равен 29,9; при уменьшенном отношении NH_4:NO_3 — 31,7.

В последнем случае, *когда использованы были оба приема страхования от излишней кислотности* в конце вегетационного периода, *реакция удерживалась наиболее устойчиво в пределах 4,8—5,5*.

Подобная смесь, с повышенным содержанием $Ca_3(PO_4)_2$ и несколько пониженным отношением $NH_4 : NO_3$ («смесь Цинцадзе»), испытывалась на целом ряде растений. Приведем здесь часть полученных данных (табл. 2).

Таким образом, *для злаковых смесь Цинцадзе оказалась выше всех ранее предложенных вариантов*; то же намечается в культурах с соей, горохом, льном и гречихой. В них также смесь Цинцадзе не была

[12*] Смесь, не предназначенная для водных культур.

Таблица 2

Урожай	Смесь Гельригеля	Смесь Кроне	Смесь Чирикова — Якушкина	Смесь Цинцадзе
Ячмень	18,6	14,2	28,1	39,4
Пшеница	12,3	16,7	18,1	22,6
Просо	13,0	17,1	21,0	22,2
Овес	8,8	11,8	12,4	15,0
Рожь	6,2	5,3	6,9	10,1
Сорго	16,3	22,0	25,2	29,5
Соя	3,2	3,5	6,6	12,6

превзойдена другими смесями, но так как общий уровень урожаев был слишком низок, то мы не приводим их величины, очевидно ограниченной иными факторами, чем составом смеси [13*].

Приспособление смесей к потребностям отдельных растений может требовать специального исследования. Известно, что не так легко удается вырастить в песчаных культурах, например, сахарную свеклу, если имеют дело с действительно чистым кварцевым песком. Для решения этой задачи Гельригель вводил небольшой процент промытого кислотой торфа, которому он придавал значение как фактору, повышающему капиллярность песка. Это может иметь значение для сосудов большой высоты, с какими работал Гельригель; но, по-видимому, торфу принадлежит здесь и другая роль — повышение буферных свойств песка. У нас опыты с изучением отношения свеклы к различным смесям в песчаных культурах начаты в 1926 г. З. И. Журбицким, причем испытывалось 12 вариантов различных смесей (в том числе и смесь Цинцадзе). Рост свеклы на всех смесях нельзя признать удовлетворительным; получились растения весом от 28 до 108 г, кроме случая, когда к песку было прибавлено 2% торфа — тогда средний вес растений поднялся до 250 г. Точно так же хороший рост свеклы и развитие крупных корней наблюдалось в культурах Дикусара [14*], который в 1926 г. провел опыт выращивания

[13*] Кроме названной смеси Цинцадзе были составлены и другие с различными фосфатами в качестве буфера, в целях удерживать реакцию на определенной высоте (от 3,8 до 7,0); далее, ставились опыты по учету осмотического давления при разных смесях в разные периоды, по сравнению поведения различных смесей в песчаных и водных культурах; в изложение этой части опытов мы здесь входить не будем.

[14*] Хотя данные этих опытов имеют несомненное отношение к вопросу о создании нормальной смеси для сахарной свекловицы, мы здесь не можем входить в дальнейшие подробности, точно так же, как не можем входить в изложение ряда опытов 1926 г. по вопросу о влиянии содержания в растворе ионов Н и Са на растворимость фосфатов и усвоение их различными растениями, что изучалось в опытах Домонтовича, Зарубиной, Язвицкой и Буткевича В. В., причем в последнем случае был одновременно применен метод изолированного питания и текучих растворов.

свекловицы в текучих растворах при нескольких градациях pH, при разных источниках азота (аммиак, нитраты и нитриты). Но вопрос о выращивании нормальных экземпляров свеклы в песчаных культурах, без введения торфа и беспрерывного притока свежего питательного раствора не разрешен и требует еще дальнейших опытов.

Из вышеизложенного видно, какая существенная разница в скорости продвижения наших работ по смесям наблюдается между периодами 1913—1916 и 1922—1926 гг.

В начале возможно было только испытание разных комбинаций с оценкой их почти исключительно по высоте урожая; при широкой постановке опытов мы очень быстро ознакомились с громадным многообразием получаемых результатов, но очень медленно могли продвигаться в понимании причин этого многообразия. Только применение усовершенствованной методики во втором периоде дало ключ к пониманию многих раньше незнакомых явлений, позволило учесть быстроту и резкость проявления физиологической кислотности азотнокислого аммония, сравнить те пределы, до которых отдельные растения эту кислотность доводят, изучить буферные свойства разных смесей и подойти к созданию смеси с устойчивой реакцией, пригодной не только для песчаных, но и для водных культур.

Правда, эта последняя задача решена пока ценой отступления от норм питательных веществ, определяемых потребностями растения, но важно, что задача решена в принципе, найдены причины различия между водными и песчаными культурами и изучены приемы регулирования реакции, чем облегчается дальнейшее варьирование сообразно отдельным специальным случаям.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Д. Н. ПРЯНИШНИКОВ КАК КЛАССИК НАУКИ

Димитрий Николаевич Прянишников был выдающимся ученым во многих областях науки: он был и биохимиком и физиологом растений, одновременно и агрономом в самом широком смысле этого слова. Он был и большим государственным и общественным деятелем. Отразить в одном томе его многогранную деятельность практически невозможно.

Большое внимание привлекает его творческая деятельность, связанная с агрохимией и агрономией первой половины XX века. Его агрохимические взгляды и агрохимические труды получили положительный резонанс в развитии народного хозяйства СССР. Поэтому в этом томе избранных работ Д. Н. Прянишникова печатаются главным образом его агрохимические работы, которые до сих пор имеют научное и практическое значение.

Классик агрономической науки, основоположник и организатор школы агрохимии, академик Д. Н. Прянишников много сделал для развития химизации СССР, производства и применения минеральных удобрений, обеспечивающих рост урожаев. Глубокое знание истории развития науки, умение выделить в ней прогрессивные направления развития всегда помогали Д. Н. Прянишникову определить задачи научного поиска и найти наиболее обещающие методы исследования.

Упорная пропаганда передовых научных воззрений, четко намеченный план поисковых работ, привлечение в исследование широкого круга молодых сил, смежных отраслей науки и производства, заинтересованных в успехе намеченных работ, помогли ему организовать широкий фронт целенаправленных исследований и накопить богатый фактический материал. Этот продотворный путь привел к выдающимся открытиям в биологической науке, формированию новой ее области — агрохимии и важпейшим рекомендациям по производству минеральных удобрений и их применению. Рекомендации эти широко используются и осуществляются в настоящее время.

Путем строгого критического анализа экспериментальных данных и высказанных гипотез Д. Н. Прянишников находил наиболее правильные ответы на поставленные вопросы. Многие открытия ученого, а также логика научной мысли, сам подход к оценке экспериментального материала, большое число теоретических и важных для практики применения удобрений высказываний не потеряли своего значения и теперь. Труды Д. Н. Прянишникова нередко подсказывают новое направление исследований современному научному работнику, вооруженному более совершенной техникой эксперимента и обладающему более глубоким знанием биохимических процессов. Необозримое богатство агрономической мысли



Д. Н. Прянишников
во время окончания Петровской сельскохозяйственной академии
(1889 г.)

Прянишникова широко используется в практической деятельности многочисленными агрономами страны. Его высказывания о пригодности разных форм удобрений в многообразных почвенных условиях страны до сих пор помогают технологам в выборе наиболее удачных форм новых удобрений для массового производства.

Классики естествознания заложили основы современного понимания законов природы. Гениальное открытие выдающимся ученым неизвестного ранее факта, объяснение непонятного ранее явления становятся вскоре общепризнанными, входят во все учебники. В настоящее время кажется само собой разумеющимся положение о том, что для получения высоких урожаев необходимо обеспечить растения усиленным питанием и вносить удобрения. Трудно представить себе, что еще 40 лет назад это положение оспаривалось отдельными учеными, которые возражали против строительства заводов минеральных удобрений, считая единст-

венно правильным способом мелиорации почв повсеместный посев злаковых трав. В свете изложенного не будут удивительными страстность и некоторая полемичность изложения, заметные в ряде работ Прянишникова, например его искреннее возмущение и критика шаблонных рекомендаций «на весь СССР» или человеконенавистнической псевдотеории Мальтуса.

Д. Н. Прянишников неоднократно указывал, что агрономическая наука способствует пониманию местных условий ведения хозяйства, их анализу и оценке и состоит не из набора случайных рецептов, применимых в одном месте и неприменимых в других, а из положений, которые позволяют для каждого отдельного хозяйства найти правильное решение вопросов агротехники и его организации. Поэтому теоретические положения агрономической науки должны быть даны в такой форме, чтобы было ясно, где они применимы и где неприменимы. Их нельзя смешивать с агрономическими рецептами. Например, нельзя говорить вообще, что многолетние растения повышают плодородие почвы или, наоборот, однолетние растения понижают его. Многолетние и однолетние растения могут и повышать, и уменьшать плодородие почвы. Все зависит от того, о каком растении и о каком элементе плодородия идет речь, в каких условиях возделывают растение. Только точный количественный учет состояния различных элементов почвенного плодородия и влияния на него той или иной культуры, обработки или удобрения может быть положен в основу науки о получении высокого урожая.

СССР — огромная страна, поэтому агрономические вопросы не могут решаться одинаково на севере и на юге, в засушливых и влажных условиях. Необходимо творчески подходить к ведению хозяйства в зависимости от природных и экономических условий различных областей Советского Союза: к выбору приемов обработки почвы, севооборотов, удобрений, сортов, сроков сева и других агрономических мероприятий.

Развитие сельского хозяйства в одних районах должно протекать комплексно для всей страны. Об этом Д. Н. Прянишников писал неоднократно. Одна из его статей так и называется «О согласовании мероприятий по поднятию земледелия в Центре и на Юго-Востоке». Он был инициатором развития сельского хозяйства в нечерноземной зоне. Димитрий Николаевич писал, что в решении проблемы получения высоких и устойчивых по годам урожаев зерна в нашей стране необходимо обеспечить получение в нечерноземной зоне дополнительно ежегодно «резервного миллиарда» пудов зерна. Для получения этого миллиарда необходима прежде всего химизация земледелия в нечерноземной зоне.

При жизни Д. Н. Прянишникова были достигнуты высокие урожаи сахарной свеклы, хлопчатника и других технических культур при внесении минеральных удобрений во всех районах их возделывания. Конечно, получение высоких урожаев продовольственных и кормовых культур тоже требует применения минеральных удобрений, но в Советском Союзе в то время не было еще развитой мощной химической промыш-



В Комитете по химизации народного хозяйства СССР

Слева направо: П. И. Дубов (ученый секретарь Комитета), В. В. Куйбышев, Д. Н. Прянишников, А. Н. Реформатский, Э. В. Брицке

ленности и Д. Н. Прянишников стал вдохновителем и инициатором развития в нашей стране туковой промышленности. Исследование специфических особенностей действия всех основных видов удобрений — азотных, фосфорных, калийных — получило отражение в его работах. В этот том вошли только некоторые из них.

Научные интересы Димитрия Николаевича широки и многогранны. Первые исследования в студенческие годы по вопросу о превращении белковых веществ в растениях дали толчок многолетней работе в этом направлении. Блестящий синтез биохимических и агрохимических исследований Д. Н. Прянишникова содержит его классическая монография «Азот в жизни растений и в земледелии СССР», впервые опубликованная в 1945 г. Исследования в области азотистого питания растений создали ему мировую славу, как одному из наиболее выдающихся биохимиков, а Президиум Академии наук СССР отметил эту работу присуждением премии им. К. А. Тимирязева.

В этот сборник вошли его работы по использованию фосфорных удобрений, в частности о применении фосфоритной муки, которая имеет большое значение для развития сельского хозяйства в нечерноземной зоне.

Димитрий Николаевич с большим интересом относился к открытию Со-

ликамских месторождений калийных солей. Он предвидел их огромное значение для земледелия СССР.

В этом однотомнике помещены также его работы по известкованию почв и применению местных удобрений, например навоза. Его работа «Сравнение действия навоза и минеральных удобрений» впервые позволила подойти к изучению самого древнего удобрения — навоза, на основе точных экспериментальных данных. Поставленные им в 1930 г. многолетние полевые опыты для сравнения действия навоза и минеральных удобрений до сих пор ведутся на Долгопрудной агрохимической станции НИУИФ и привлекают внимание агрономов и агрохимиков.

До создания в СССР мощной химической промышленности и выпуска минеральных удобрений Д. Н. Прянишников в целях устранения недостатка азота в земледелии СССР много внимания уделял использованию местных источников азота, в частности посевам люпина на зеленое удобрение, что тоже нашло отражение в этом издании.

Из работ по методике исследования представлена его статья о нормальных питательных смесях для песчаных и водных культур. Предложенная Димитрием Николаевичем питательная смесь до сих пор широко используется при постановке вегетационных опытов.

Работы Димитрия Николаевича Прянишникова всегда были тесно связаны с жизнью и развитием сельского хозяйства и химической промышленности СССР.

Результаты исследований Прянишникова не могли оказать большого влияния на сельское хозяйство дореволюционной России. Великая Октябрьская социалистическая революция сделала возможным перестройку сельского хозяйства на научной основе, дала путевку в жизнь многим его предложениям по производству удобрений и химизации земледелия.

Д. Н. Прянишников неоднократно выступал в Госплане, отстаивая необходимые для повышения урожаев масштабы производства удобрений. Как горячий патриот своей родины он подчеркивал важное оборонное значение мощной химической промышленности. Расчеты Прянишникова оправдались — ежегодное применение 60 млн. тонн удобрений в стране позволило удвоить производство зерна.

Велико значение Д. Н. Прянишникова в организации высшего сельскохозяйственного образования в нашей стране. Издание его трудов и многочисленные выступления способствовали повышению качества специалистов, привлечению женщин в агрономию, обучению началам научного исследования каждого студента при выполнении дипломных работ и т. п. Теоретические выводы после Великой Октябрьской революции нашли широкое применение во всей системе высшего образования. Результаты вегетационных опытов и лабораторных работ студентов регулярно публиковались Прянишниковым и составили за 40 лет 18 томов. Работы эти значительно продвинули изучение важнейших вопросов питания растений и способствовали развитию теоретических основ современной агрохимии.

Прянишников создал большую школу советских ученых агрохимиков, агрономов и биологов, много сделавшую для углубления наших знаний о взаимосвязи почвы, растения и удобрений, разработавшую пути быстрого подъема урожайности сельскохозяйственных культур. Многие крупные деятели с гордостью называли себя учениками Д. Н. Прянишникова. Упомянем здесь лишь всемирно известных ученых Н. И. Вавилова, А. Н. Соколовского, Н. А. Майсуряна, И. В. Якушкина, В. М. Клечковского, В. С. Буткевича, ставших академиками Всесоюзной, республиканских академий наук и ВАСХНИЛ.

Велика также заслуга Димитрия Николаевича в систематизации, научном обобщении, анализе и синтезе многообразных разрозненных данных, а также построении логических схем, облегчающих понимание тех или других областей естествознания: таковы его книги «Учение об удобрении», выдержавшее 5 изданий, «Частное земледелие» (10 изданий), «Агрохимия» (7 изданий), его схемы деления наук по объектам и методам, классификация севооборотов и «Прянишниковский треугольник».

Наибольшую известность получила его книга «Агрохимия», где даны научные основы учения об удобрении почвы и сосредоточены сведения о состоянии и перспективах применения удобрений в СССР. В дополненном и переработанном издании 1940 г. автор исследовал новый этап развития науки, выдвинул новые задачи, показал новые перспективы химизации. Книга эта по существу явилась ценной монографией и была удостоена Государственной премии 1941 г.

Прянишников продолжал работать над книгой до последних дней жизни и подготовленное им новое издание вышло в свет в издательстве Академии наук СССР уже после его смерти (Избранные сочинения, т. 3, 1952). Большой объем (54 печатных листа) не позволяет включить этот классический труд в настоящее издание. «Агрохимия» напечатана в «Избранных сочинениях Д. Н. Прянишникова» издательством «Колос», т. 1, 1965.

Вторая крупнейшая работа Прянишникова — «Частное земледелие (Растения полевой культуры)» (61 печатный лист) также была переиздана в 1963 и 1965 гг. издательством «Колос» («Избранные сочинения», т. 2).

Следуя по пути блестящего популяризатора науки К. А. Тимирязева, Димитрий Николаевич создал насыщенный живыми историческими примерами и богатый интересными обобщениями курс «Введение в агрономию», где изложена история науки вообще и агрономической науки в частности. Необходимо отметить, что Димитрий Николаевич был единственным ученым, который читал курс «Введение в агрономию». В своих лекциях Д. Н. Прянишников стремился дать такие теоретические положения, на основе которых можно было решать задачу получения высоких урожаев в различных конкретных естественноисторических и хозяйственных условиях. Сила настоящей теории заключается в том, что



Памятник Д. Н. Прянишникову
на территории Московской сельскохозяйственной академии
им. К. А. Тимирязева

она является не догмой, а руководством к действию. Настоящая агрономическая теория состоит из положений, которые не отрицают значения местных условий, а используют их как параметры для решения задачи получения высокого урожая. Убедительно показана необходимость глубокого изучения закономерностей и анализа конкретных условий роста растений и полного отказа от применения шаблонных рецептов.

Великий ученый соединяет в себе творчество поэта, диалектику философа и искусство исследователя — такую характеристику Дарвину дал К. А. Тимирязев. Прянишников, говоря о Тимирязеве, отмечает две черты — талант популяризатора и его развитое чувство гражданского долга. Эта характеристика целиком может быть отнесена и к самому Димитрию Николаевичу.

А. В. Соколов, Д. В. Федоровский

ОСНОВНЫЕ ДАТЫ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ Д. Н. ПРЯНИШНИКОВА *

1865 г.— Родился в г. Кяхте (Восточная Сибирь) 6 ноября (25 октября по старому стилю).

1882 г.— Окончил Иркутскую гимназию с золотой медалью и поступил учиться в Московский университет на естественноисторическое отделение.

1887 г.— Окончил Московский университет со степенью кандидата естественных наук и поступил на третий курс Петровской земледельческой и лесной академии.

1888 г.— По представлению К. А. Тимирязева и И. А. Стебута Совет Петровской академии утвердил по конкурсу на 3 года стипендиатом высшего оклада для подготовки к научному званию.

1889 г.— Окончил Петровскую академию со званием кандидата сельскохозяйственных наук.

1891 г.— Сдал магистерский экзамен при Московском университете.

1892 г.— Начал чтение курса по агрономической химии в Московском университете (который продолжал до 1929 г.).

1892 г.— Командирован за границу на два года для научной работы. Работал в основном у Э. Шульце в Цюрихе, где проводил исследования по обмену азотистых веществ в растениях.

1895 г.— Получил кафедру в Московском сельскохозяйственном институте (преобразованном позднее в Петровскую сельскохозяйственную академию, затем в Сельскохозяйственную академию им. К. А. Тимирязева), где начал читать курсы «Учение об удобрении» и «Частное земледелие». Работал здесь до 1948 г.

1896 г.— Защитил магистерскую диссертацию на тему «О распадении белковых веществ при прорастании» в МГУ. Оппонентом был К. А. Тимирязев, который дал высокую оценку этой диссертации.

1896 г.— Впервые в истории высшего образования в России привлек к научной работе большое число студентов, введя в практические занятия вегетационные опыты.

1897 г.— Вышел из печати первый сборник научных исследований, проведенных студентами под руководством Д. Н. Прянишникова. За 40 лет вышло 17 томов серии «Из вегетационных опытов и лабораторных работ»— первое планомерное изучение агрохимических проблем.

1900 г.— Защитил докторскую диссертацию в МГУ на тему: «Белковые вещества и их распадение в связи с дыханием и ассимиляцией», получившую блестящую оценку со стороны К. А. Тимирязева, который тогда уже предсказал, что основные данные работы войдут в учебники.

1900 г.— Напечатано первое издание курса «Учение об удобрении», выдержавшее впоследствии 6 изданий на русском языке, переведенное на польский (в 1912 г.) и на немецкий (в 1923 г.) языки.

1902—1904 гг.— Редактировал журнал «Вестник сельского хозяйства».

1906 г.— Был избран вице-президентом Московского общества сельского хозяйства.

1907 г.— Напечатан курс «Химия растений» (вышло два издания — 1907 и 1925 гг.).

1907—1917 гг.— Участвовал в организации Высших женских сельскохозяйственных курсов в Москве (так называемых «Голицинских»), избирался директором их в течение 9 лет; читал лекции по агрохимии и физиологии растений.

---

* Составлены Ф. А. Юдиным.

1908 г.— Впервые в стране приготовил суперфосфат и преципитат из отечественного сырья.

1908 *г.*— Избран заместителем директора по учебной части в Московском сельскохозяйственном институте. Работая в этой должности по 1913 г., он провел реорганизацию института: ввел специализацию, ввел дипломные работы и экзамены, аналогичные магистерским.

1908—1909 гг.— Исполнял обязанности директора Московского сельскохозяйственного института.

1913 г.— Был избран членом-корреспондентом Российской академии наук.
Был избран почетным членом Шведской земледельческой академии.

1916—1917 гг.— Исполнял обязанности директора Московского сельскохозяйственного института.

1919 г.— Основал вместе с профессором Я. В. Самойловым и профессором Э. В. Брицке Научный институт по удобрениям (в системе ВСНХ), организовал и возглавлял до 1929 г. его агрохимический отдел.

1920—1925 гг.— Исполнял обязанности декана сельскохозяйственного отделения Петровской академии. Отделение выпускало специалистов по земледелию, зоотехнике и экономике.

1920—1925 гг.— Член Госплана, инициатор мероприятий по химизации земледелия и продвижению земледелия на север, внес предложение об организации крупных совхозов на юго-востоке страны.

1920 г.— Участвовал в качестве эксперта в русско-польских переговорах по заключению мирного договора, которые велись в Риге.

1921—1929 гг.— Активно участвовал в работах Государственного ученого совета (ГУС) Наркомпроса, Пищевого института, Центрального института сахарной промышленности (ЦИНС).

1923 г.— Был избран почетным доктором Бреславльского университета.

1926 г.— Комиссия при Совнаркоме СССР присудила за научные работы премию им. В. И. Ленина.

1927 г.— Избран почетным членом Чехословацкой земледельческой академии, членом Ученого совета Международного института земледелия в Риме и почетным членом Германской академии естествоиспытателей в Галле.

1928—1936 гг.— Работал в Комитете по химизации народного хозяйства СССР, одним из инициаторов которого он был.

1929 г.— Был избран действительным членом Академии наук СССР.

1930 г.— Избран президентом IV комиссии (по плодородию) на Международном конгрессе общества почвоведов (на 5 лет).

1931 г.— На базе Агрохимической опытной станции ТСХА был основан Всесоюзный институт удобрений и агропочвоведения (в системе Наркомзема), где заведовал отделом минеральных удобрений до 1948 г.

1933 г.— Комитет по химизации народного хозяйства СССР присудил премию за активную работу по химизации страны.
Был избран почетным членом Немецкого ботанического общества и почетным членом Германского общества прикладной ботаники.

1934 г.— Вышло 1-е издание курса «Агрохимия», выдержавшее затем 3 издания на русском языке и переведенное на украинский, грузинский, армянский, азербайджанский и болгарский языки.

1935 г.— Избран действительным членом Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина и почетным членом Голландского ботанического общества.

1936 г.— Награжден орденом Трудового Красного Знамени за активную работу в Госплане.

1939 г.— Награжден Большой золотой медалью Всесоюзной сельскохозяйственной выставки.

1940 г.— Награжден орденом Ленина к 50-летию научной, педагогической и общественной деятельности.

1941 г.— Получил Государственную премию 1-й степени за труд «Агрохимия» (3-е издание, заново переработанное и сильно расширенное).

1944 г.— Награжден вторым орденом Трудового Красного Знамени за особые заслуги в деле создания промышленности минеральных удобрений.

1945 г.— Получил звание Героя Социалистического Труда с вручением золотой медали «Серп и Молот» и ордена Ленина за выдающиеся заслуги в области развития агрохимии и физиологии растений, плодотворную деятельность по повышению урожайности и за создание отечественной школы агрохимиков.

Награжден третьим по счету орденом Трудового Красного Знамени, орденом Отечественной войны 1-й степени и медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.» за успешное выполнение заданий правительства по обеспечению фронта и населения продовольствием и сырьем в трудных условиях войны.

1945 г.— Издана монография «Азот в жизни растений и в земледелии СССР».

1946 г.— За монографию «Азот в жизни растений и в земледелии СССР» Академией наук СССР присуждена премия им. К. А. Тимирязева.

1946 г.— Избран членом-корреспондентом Французской академии наук и членом Общества физиологии растений США.

1948 г.— Избран почетным членом Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний.

1948 г.— 30 апреля на 83-м году жизни Димитрий Николаевич Прянишников скончался в Москве и похоронен на Ваганьковском кладбище.

Д. Н. Прянишников выезжал в командировки за границу для изучения опыта производства и применения удобрений, постановки научно-исследовательских работ и сельскохозяйственного образования в 1892, 1900, 1903, 1904, 1906, 1907, 1909, 1910, 1912, 1913, 1914, 1920, 1921, 1922, 1923, 1925, 1927, 1929, 1931, 1933, 1935 и 1936 гг. Неоднократно выступал с докладами на Международных конгрессах, представляя русскую и советскую науку за рубежом.

Д. Н. Прянишников был членом редколлегии журнала «Почвоведение» в 1929—1936 гг., журнала «Удобрение и урожай» в 1930 г., журнала «Химизация социалистического земледелия» и Soil Science в 1934—1948 гг.

КОММЕНТАРИИ И ПРИМЕЧАНИЯ *

К разделу «Азотное питание и азотные удобрения»

[1] Вопросам азотного питания и роли азота в земледелии Д. Н. Прянишников в течение всей своей многолетней научной деятельности уделял исключительно большое внимание. Работы Димитрия Николаевича по азотистому питанию и азотистому обмену растений сыграли ведущую роль в развитии этой главы агрохимии и послужили научным обоснованием для организации азотной промышленности в нашей стране, а также для решения широкого круга вопросов по рациональному применению азотных удобрений в земледелии.

Д. Н. Прянишников по праву считается основоположником изучения азотного питания и обмена азотистых веществ в растениях. Начав свои исследования в этой области еще в конце прошлого столетия, он продолжал их в течение полувека. Огромный материал, накопленный Д. Н. Прянишниковым и представляющий исключительный интерес для теории и практики земледелия, был приведен в монографии «Азот в жизни растений и в земледелии СССР», изданной в 1945 г. к его 80-летнему юбилею. За эту книгу Д. Н. Прянишникову в 1946 г. Президиумом Академии наук СССР была присуждена премия им. К. А. Тимирязева.

В первой части монографии Д. Н. Прянишниковым обобщены его собственные теоретические представления и результаты экспериментальных исследований по превращению азотистых веществ в растениях. Детально рассмотрены вопросы о формах соединений азота, доступных растениям, весьма обстоятельно исследован обмен азотистых веществ в растении и роль в нем аммиака и амидов (аспарагина и глутамина), показаны пути синтеза органических соединений азота за счет нитратов и нитритов.

Вторая часть монографии посвящена физиологической характеристике аммиачных и нитратных солей как источника азота для питания растений. Д. Н. Прянишниковым и его сотрудниками на основании большой серии физиологических опытов установлены основные закономерности аммиачного и нитратного питания в зависимости от реакции среды, концентрации питательного раствора и запасов углеводов в растении, была исследована скорость поглощения иона аммония и нитрат-иона в зависимости от возраста ассимилирующего растения, а также роль сопутствующих катионов и анионов при аммиачном и нитратном питании. Д. Н. Прянишников четко сформулировал основные условия питания растений аммиачной формой азота, послужившие фундаментом для использования в качестве удобрения продукции, получаемой на основе синтеза аммиака.

Третья часть монографии посвящена проблеме азота в земледелии СССР, в ней подробно излагаются вопросы о роли азота в повышении урожаев сельскохозяйственных культур. Приведены интересные данные по азотному балансу в зарубежных странах и показаны перспективы построения азотного баланса в земледелии СССР. Много внимания Д. Н. Прянишников, наряду с использованием азота технического, уделяет также азоту биологическому.

Кроме изложения собственных экспериментальных данных автором приведен обширный обзор основных результатов работ других авторов по всем исследованным в монографии вопросам, а также по вопросу усвоения растениями свободного азота, собственных исследований по этому вопросу Д. Н. Прянишников не проводил.

По оценке советских и зарубежных ученых, книги в данной области знания, равной монографии Д. Н. Прянишникова «Азот в жизни растений и в земледелии СССР», в мировой литературе нет.

---

* Составлены Ф. А. Юдиным.

[2] Названия государств, а также областей и губерний России и т. п. в трудах Д. Н. Прянишникова приведены без изменения по оригиналу, в соответствии с существовавшими в то время границами.

[3] За четверть века, прошедшие с момента выхода монографии Д. Н. Прянишникова, в связи с глубоким революционным преобразованием биологической науки, появлением новых идей и началом изучения биохимических процессов на молекулярном уровне, в области азотного обмена растений был накоплен существенный экспериментальный материал, достигнуты значительные успехи в понимании механизмов регуляции ферментативных процессов в клетке и открыты новые содержащие азот соединения. Весьма ценным дополнением, углубляющим и расширяющим многие представления, изложенные в первой части книги Д. Н. Прянишникова, может служить монография В. Л. Кретовича «Обмен азота в растениях» (М. «Наука», 1972 г., 527 с.). Читатель в книге Кретовича найдет сводку мировой литературы, а также изложение результатов исследований, полученных в лаборатории автора.

Продолжаются исследования азотного питания растений, изучение процессов превращения разных форм азотных удобрений и их эффективности, развиваются новые теоретические представления, углубляющие и уточняющие некоторые положения второй части книги «Азот в жизни растений и в земледелии СССР». Новые данные и представления получены в работах с использованием стабильного изотопа азота ^{15}N.

В ряде работ при изучении азотного питания растений, превращения азотных соединений в почве использованы новые методы агрохимических исследований: различные виды спектрометрических и спектроскопических методов анализа, хроматографии, лизиметрический метод в разных модификациях и др.

В первую очередь здесь следует назвать работы Ф. В. Турчина (1972), в которых изложены результаты исследования азотного питания растений, а также работы по изучению агрохимических свойств и эффективности новых форм: жидких азотных удобрений, мочевины и мочевино-формальдегидных удобрений. Ф. В. Турчин был одним из пионеров использования стабильного изотопа азота ^{15}N в исследованиях азотного питания и превращения азотных удобрений в разных почвах.

Развивая основные идеи Прянишникова, Ф. В. Турчин установил последовательность образования отдельных аминокислот в растениях и показал возможность регулирования аминокислотного состава зерна путем внесения азотных удобрений. Теоретические исследования Ф. В. Турчина выявили роль калия в синтезе азотных органических соединений, специфику влияния калия и фосфора на интенсивность и направление окислительно-восстановительных процессов при аммиачном и нитратном питании растений.

Д. Н. Прянишников, неустанно борясь за увеличение производства азотных удобрений, неоднократно указывал на необходимость улучшения азотного баланса в земледелии за счет привлечения дарового источника азота, синтезируемого биологическим путем в посевах клевера, люцерны, люпина и других бобовых культур.

[4] Расширению посевов многолетних бобовых трав Д. Н. Прянишников придавал очень большое значение в деле повышения продуктивности сельского хозяйства. Указывая на необходимость обеспечения посевов клевера и люцерны фосфорными и калийными удобрениями и известкования кислых почв, он призывал увеличивать посевы зернобобовых культур, так как они содержат в зерне вдвое больше белка, чем злаковые, а солома их также богаче белком, чем солома злаковых, и они могут служить важным источником для пополнения общего недостатка белка в пищевом и кормовом балансе. Д. Н. Прянишников считал, что зернобобовые не требуют азотных удобрений, однако, более поздние работы показали, что для получения высоких урожаев зернобобовые требуют внесения азотных удобрений в дозах, составляющих около $^1/_3$—$^1/_2$ общего выноса азота высоким урожаем. При этом они сохраняют свою способность к азотфиксации и способны накапливать связанный азот атмосферы в размере $^2/_3$—$^1/_2$ от общего выноса азота урожаем (М. М. Гукова. «Особенности питания бобовых растений свободным и связанным азотом». Автореф. докт. дисс. М., 1974).

[5] «Мы пришли бы к абсурдным цифрам» — при площади 150 млн. га и голландских нормах удобрений (2—3 т/га) потребуется 100 млн. т туков, т. е. в 30 раз больше, чем мы производим теперь — это было сказано Прянишниковым в 1945 г. Быстрый рост производства удобрений в последующие годы могут характеризовать следующие цифры: произведено удобрений за 12 лет (1928–1940 гг.) – 23,5 млн. т, произведено за 1974 г. – 80,3 млн. т (Сообщение ЦСУ СССР. – Известия, № 21, от 24.I 1975 г.). В 1980 г. производство удобрений должно достичь 143 млн. т стандартных туков (Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы.— Известия, № 57, от 7. III 1976 г.).

[6] В перспективном проекте азотного баланса в земледелии СССР, составленном Д. Н. Прянишниковым в послевоенные годы и рассчитанном на посевную площадь в 160 млн. га при получении среднего урожая зерновых в 16 ц/га с учетом реальных возможностей развития химической промышленности в те годы, предлагалось комплексное решение азотной проблемы. При общем выносе азота в 8,2 млн. т технический азот в количестве 1,3 млн. т должен был обеспечить потребность технических и других интенсивных культур, основное же направление в улучшении азотного баланса зерновых культур должно было идти за счет азота биологического. Расширение посевов бобовых трав должно было также служить кормовой базой для развития животноводства.

В составленном Д. Н. Прянишниковым балансе общий вынос азота урожаями принят за 100%, доля азота технического составляла 15,9%, азота навоза, включая сюда азот надземной части бобовых —42,7%, азот корневых остатков бобовых трав — 25,0%; при этом обнаруживался дефицит азота в 16,4%. Д. Н. Прянишников считал, однако, такое положение с азотным балансом допустимым «как один из этапов на пути к дальнейшему росту, в процессе которого мы сможем и должны будем далеко опередить считавшиеся раньше передовыми в техническом и экономическом отношении страны».

Научно-технический прогресс, достигнутый нашей страной, и бурный рост производства минеральных удобрений, в том числе и азотных, определили иную структуру азотного баланса в СССР. В перспективном балансе азота для земледелия СССР, составленном П. М. Смирновым на 1980 г. (Доклады ТСХА, вып. 149. М., 1969, стр. 39), рассчитанном для посевной площади 230 млн. га при получении среднего урожая зерновых в 21—23 ц/га и общем выносе азота урожаями в 16,1 млн. т, доля минерального азота составляет 65,2% от выноса, азота навоза — 18,6%, азота бобовых — всего лишь 5,7%, при дефиците азота в 10,5%.

При абсолютном увеличении всех приходных статей баланса относительная доля разных источников азота будет изменяться по-разному: доля азота навоза и азота бобовых снижается, в то время как доля азота технического значительно возрастает. Одновременно с ростом применения азотных удобрений должен снижаться дефицит азота.

В перспективе последующих пятилетий азотный баланс должен быть бездефицитным и даже положительным для получения урожаев всех культур, полноценных по содержанию протеина. При этом доля азота навоза в балансе составит 15—20%, доля азота бобовых — около 5%, применение азота минеральных удобрений — 80% и больше.

Учитывая, что, несмотря на высокие темпы производства минеральных удобрений, баланс азота даже к 1980 г. сохранит некоторый дефицит, первостепенное значение приобретает разработка приемов повышения эффективности азотных удобрений и более продуктивного их использования.

Изучение превращения азотных удобрений в почве, использования их различными сельскохозяйственными культурами, размеров и природы непроизводительных потерь азота из почвы, путей снижения потерь азота, начатое Д. Н. Прянишниковым, значительно продвинулось вперед благодаря работам Ф. В. Турчина, П. М. Смирнова, Д. А. Коренькова, Н. А. Сапожникова, которые использовали новейшие методы исследования.

Д. Н. Прянишников писал, что азот технический дороже азота клевера и азота

навоза, поэтому даже в странах с высокоразвитой химической промышленностью не ему принадлежит главная роль в снабжении сельскохозяйственных растений азотом, а азоту биологическому. Но современное производство связанного азота в результате технического прогресса уже не дороже, а дешевле биологического (если иметь в виду азот клевера и люцерны). В ряде стран дешевый технический азот широко применяется для удобрения не только зерновых, но и лугов и пастбищ, а также посевов бобовых трав для получения высоких урожаев сена до 120 ц с 1 гектара.

В результате интенсификации сельского хозяйства на базе его химизации наша страна уже с 1964 г. выделяет часть минеральных удобрений под зерновые культуры. С дальнейшим ростом производства удобрений роль их в повышении урожаев зерновых культур значительно возрастает. Особенно велика роль минеральных удобрений и в первую очередь азотных в повышении урожаев зерновых в нечерноземной полосе, где высокой эффективности удобрений благоприятствуют климатические условия.

[7] Проектируя перспективный баланс азота, Д. Н. Прянишников намечал поставку химической промышленностью 1,3 млн. т азота минеральных удобрений, что было достигнуто в 1962 г., а к 1966 г. общее потребление азота в удобрениях составляло 2,66 млн. т и 1970 г.—5 млн. т. К 1980 г. ежегодная поставка азота промышленностью для сельского хозяйства страны должна возрасти до 12 млн. т (П. М. Смирнов. Докл. ТСХА, вып. 149, 1969). Д. Н. Прянишников, предвосхищая это, писал, что у нас имеются громаднейшие возможности для расширения применения удобрений в будущем и в то время, когда азотная промышленность будет обслуживать и хлеба, размеры нашей азотной промышленности превзойдут по мощности не только суммарную мощность заводов стран Европы, но они смогут конкурировать и с мировой промышленностью.

В 1974 г. по валовому производству минеральных удобрений СССР вышел на первое место в мире, хотя при огромных масштабах наших посевных площадей количество удобрений на 1 га пашни еще недостаточно.

Приведенный в работе «Азот в жизни растений и в земледелии СССР» пример перспективного плана азотного баланса представляет исключительный научный интерес и в настоящее время с точки зрения методологии планирования поставок удобрений сельскому хозяйству.

С расширением масштабов химизации неизбежно изменяется структура баланса элементов питания растений, как это показано выше для азота. В связи с этим в современной агрохимии продолжается глубокое и всестороннее изучение баланса питательных веществ в земледелии, разрабатываются приемы регулирования этого баланса, как основы системы применения удобрений настоящего времени, и составляется прогноз на будущее.

Дальнейшее развитие и углубление исследований Д. Н. Прянишникова по вопросам эффективности азотных удобрений и превращениям их в почве, а также балансу азота в почвах отражено в следующих работах советских ученых: И. В. Тюрин. Плодородие почв и проблема азота в почвоведении и земледелии.— В кн. «Органическое вещество почвы и его роль в плодородии» (1965). Ф. В. Турчин. Азотное питание растений и применение азотных удобрений (1972); Д. А. Кореньков. Вопросы теории и практики применения азотных удобрений (1966); П. М. Смирнов. Превращение азотных удобрений в почве и их использование растениями (1970); Н. А. Сапожников. Некоторые новые пути в развитии учения Д. Н. Прянишникова об азоте в земледелии СССР.— Агрохимия (1973), а так же в ряде сборников: Азот в земледелии нечерноземной полосы (под ред. Н. А. Сапожникова, 1973); Роль азота в земледелии дерново-подзолистых почв (под ред. А. В. Соколова, 1974); Азотные удобрения. Материалы географической сети опытов по изучению эффективности форм минеральных удобрений (под ред. Ф. В. Турчина и И. Г. Кондратьева, 1966); Применение стабильного азота ^{15}N в исследованиях по земледелию (1973); Биологический азот и его роль в земледелии (1967); Баланс азота в дерново-подзолистых почвах (под ред. А. В. Соколова, 1966).

[8] Кроме монографии «Азот в жизни растений и в земледелии СССР» в разделе представлена еще одна работа Д. Н. Прянишникова — «Обмен азотистых веществ и

питание растений», являющаяся одной из последних работ Димитрия Николаевича. Ее публикация имеет чрезвычайно важное методологическое значение, так как именно в этой работе Д. Н. Прянишников наиболее четко сформулировал основные теоретические принципы, служившие руководящим началом в изучении различных вопросов азотного обмена и азотного питания растений, проводимом им на протяжении нескольких десятилетий. Первое положение связано с применением Д. Н. Прянишниковым в исследованиях обмена азотистых веществ растений сравнительного метода и глубокого анализа различия и единства процессов превращения азотистых веществ на разных ступенях эволюционного развития, в растительных и животных организмах. Сопоставляя роль аспарагина в растениях с ролью мочевины в животных организмах, Д. Н. Прянишников отчетливо показал, что оба продукта азотистого обмена — аспарагин и мочевина — образуются как соединения, обезвреживающие аммиак, получаемый в результате ферментативного распада белков и последующего дезаминирования аминокислот.

Проводя дальнейший анализ образующихся у растений и животных продуктов азотистого обмена, Д. Н. Прянишников установил, что различие этих продуктов связано с их неодинаковой ролью. Аспарагин у растений накапливается в результате вторичного процесса синтеза в тканях и служит запасным источником азота, используемого в дальнейшем на синтез новых белковых веществ. Мочевина, которая тоже является продуктом обезвреживания аммиака животным организмом, не реутилизируется, а выделяется как отброс.

Выяснение различий в обмене азотистых веществ у растений и животных позволило наглядно представить и обратную сторону этого вопроса, а именно подойти к мысли о единстве основных процессов обмена азотистых веществ различными организмами. Д. Н. Прянишников сформулировал это важнейшее положение о параллелизме, о единстве основных превращений азотистых веществ у животных и растений, которое в прошлом не раз служило отправным пунктом для построения рабочих гипотез в физиологии растений и сыграло большую роль в установлении многих принципиальных положений и может быть использовано сейчас для новой постановки вопросов о разных сторонах обмена веществ в растениях.

Второе принципиальное положение, настойчиво выдвинутое Д. Н. Прянишниковым в этой работе, послужило источником развития целого направления в физиологии растений и агрохимии, оказалось чрезвычайно плодотворным при изучении проблемы азотистого питания и имеет более широкое значение. Это представление о тесной взаимной связи между внешними условиями питания и внутренними процессами обмена веществ растений. С одной стороны, внутреннее состояние растения, направление и интенсивность процессов обмена веществ определяют отношение к условиям внешней среды, способность растения использовать тот или иной источник питания, с другой — изменение условий внешней среды, например формы или интенсивности азотного питания, соотношения и концентрации других элементов, способно глубоко повлиять на характер обмена веществ внутри растения. Только на пути познания этой взаимной связи и обусловленности между внутренним состоянием организма и внешней средой можно получить правильное представление о значении условий питания для жизни растения и надежное теоретическое обоснование таких приемов воздействия на растение, которые имеют целью изменять не только высоту урожая, но и его химический состав.

Эти два основных принципиальных положения в изучении связи между процессами питания и обмена веществ у растений получили дальнейшее развитие в работах многочисленных учеников агрохимической школы Прянишникова.

В своей классической итоговой работе Д. Н. Прянишников выступает не только как ученый экспериментатор, но и как мыслитель, способный к построению широких общебиологических проблем на основе глубокого анализа и синтеза результатов многочисленных исследований. Работа эта позволяет полнее охарактеризовать Д. Н. Прянишникова как крупнейшего классика естествознания.

Дальнейшее исследование проблем азотного питания и азотного обмена в связи с применением удобрений с методологических позиций, развиваемых Д. Н. Прянишникова

никовым, мы находим в многочисленных работах учеников Димитрия Николаевича И. Г. Дикусара, А. В. Владимирова, А. Ф. Калинкевича, Ф. В. Турчина, И. В. Мосолова, Н. С. Турковой, В. В. Церлинг, Б. П. Плешкова и др.

К разделу «Фосфорит и другие фосфорные удобрения»

[9] Д. Н. Прянишников много внимания уделял использованию фосфоритов в качестве непосредственного фосфорного удобрения. Полученные в лаборатории Д. Н. Прянишникова экспериментальные результаты имели и имеют важное теоретическое и практическое значение. Академик Д. Н. Прянишников впервые разработал научную теорию, которая позволяет с высокой точностью прогнозировать эффективность действия фосфоритной муки в зависимости от агрохимических свойств почв, вида растений, свойств фосфорита и сопутствующих удобрений.

Хорошо известно, что наша страна весьма богата фосфоритами и в качестве непосредственного удобрения они использовались и до Прянишникова. Однако разноречивость результатов полевых опытов и мнений побудила Д. Н. Прянишникова по-новому поставить изучение проблемы использования фосфоритов в качестве непосредственного удобрения. Он расчленил проблему, и действие фосфоритов изучалось в зависимости от свойств почвы, вида растений, свойств фосмуки и сопутствующих удобрений.

Уже в 1899 г. Д. Н. Прянишников в работе «Доступна ли культурным растениям фосфорная кислота фосфоритов?» сформулировал основные положения о возможности применения фосмуки в качестве непосредственного удобрения. Он показал, что такие растения, как люпин, горох, горчица и гречиха, могут вполне удовлетворительно использовать фосфор фосмуки независимо от свойств почвы, а зерновые хлеба, наоборот, усваивают фосфор фосфоритов только при наличии определенных свойств почвы. Было установлено также значение почвенной кислотности для перевода фосмуки в более растворимую и доступную для растений форму фосфатов. Высокое действие фосфоритной муки отмечалось на малоокультуренных торфянистых и кислых подзолистых почвах. Позднее А. Н. Лебедянцевым показано, что фосфориты обладают высоким действием на сильно выщелоченных и оподзоленных черноземах лесостепной зоны. Было также установлено, что подольский фосфорит наименее доступен для растений даже на кислых почвах.

Надо заметить, что свои исследования по применению фосфорита Д. Н. Прянишников начал проводить в то время, когда в стране только зарождалась промышленность по производству фосфорных удобрений. Особо следует отметить статью «Новый способ переработки фосфоритов», где Димитрий Николаевич экспериментально опроверг распространенное тогда мнение о непригодности русских фосфоритов для производства суперфосфата.

В 1908 г. Д. Н. Прянишников впервые предложил метод азотнокислотного разложения фосфоритов для получения преципитата и сложных удобрений.

Исследования Д. Н. Прянишникова по вопросу непосредственного использования фосфоритов в качестве удобрения не потеряли своего значения и в настоящее время. Географическая сеть полевых опытов с удобрениями показала, что на кислых подзолистых почвах и на выщелоченных черноземах фосфоритная мука положительно действует на урожай разных сельскохозяйственных культур.

Поскольку темпы производства промышленных фосфорных удобрений сильно отстают от потребности земледелия в фосфоре, расширение производства и применения фосфоритной муки на кислых почвах позволит существенно увеличить урожаи сельскохозяйственных культур. В одной нечерноземной зоне насчитывается 10 млн. га почв с высокой кислотностью и низкой обеспеченностью подвижным фосфором, где фосфоритная мука окажет сильное действие на урожай растений. Экономическая эффективность фосмуки здесь будет выше, поскольку единица P_2O_5 в фосфоритной муке в два-три раза дешевле, чем в суперфосфате. В соответствии с предложением

Д. Н. Прянишникова кислотность подзолистых, серых лесных почв и выщелоченных черноземов нужно использовать в первую очередь для разложения фосфоритной муки и уже потом проводить известкование этих почв.

Ряд статей Д. Н. Прянишникова содержит ценные указания по исследованию новых удобрений (см. комментарии к разделу «Методические вопросы агрохимии»). В конце каждой статьи Димитрий Николаевич намечает возможные пути использования результатов исследования в практике удобрения, а также останавливается на новых, возникающих при этом проблемах. Так, после установления факторов, определяющих эффективность удобрения фосфоритной мукой (кислотность почвы, свойства растений, влияние сопутствующих удобрений), возникает вопрос о возможности мобилизации кислотности почвы при помощи добавки нейтральных солей к фосфоритной муке в целях ее лучшего растворения.

[10] Деление страны на губернии существовало до Великой Октябрьской революции и после нее — вплоть до 1929 г., их названия приводятся без изменений авторского текста.

[11] В ряде случаев нами использован текст публикации в сборнике «Статьи и научные работы Д. Н. Прянишникова» 1927 г. издания, поскольку при подготовке этого сборника самим автором были сделаны некоторые исправления и дополнения первоначального текста первой публикации.

К разделу «Значение калийных удобрений в питании растений»

[12] В работе «Соликамский калий и наше земледелие» (1926), а также в статье «Отношение различных культур к калийным удобрениям и возможный спрос на калийные соли со стороны сельского хозяйства» (1928), Д. Н. Прянишников сделал расчеты возможной потребности нашего сельского хозяйства в калийных удобрениях. Это было связано с выдающимся открытием в 1925 г. нашими геологами богатейших месторождений калийных солей на Северном Урале. До открытия соликамского калия применение калийных удобрений было незначительным, ввиду дороговизны импортных калийных солей, а вопросы отзывчивости отдельных культур на калийные удобрения были изучены недостаточно. Д. Н. Прянишников использовал данные имевшихся полевых опытов для оценки отзывчивости основных сельскохозяйственных культур на различные формы калийных солей, однако требовалась дальнейшая разработка агрохимической характеристики разных форм калийных удобрений и определение их эффективности при применении под отдельные сельскохозяйственные культуры на разных типах почв. Новые данные, полученные в опытах НИУИФ по изучению эффективности калийных удобрений, опубликованы в сборнике «Калийные удобрения», 1964 г., а результаты полевых опытов Географической сети ВИУА — в работе «Эффективность форм калийных удобрений».— В кн. «Питание растений». М., 1962.

Сводку работ по формам и эффективности калийных удобрений под сельскохозяйственные культуры, а также экспериментальные данные, полученные в ВИУА за период с 1935 по 1965 г., можно найти в книге В. У. Пчелкина «Почвенный калий и калийные удобрения» (1966).

[13] Высказанные здесь опасения, что примесь хлористого натрия при внесении низкопроцентных калийных удобрений должна понижать качество сахарной свеклы, в дальнейшем не подтвердились. Наоборот, отмечены случаи лучшего действия сильвинита по сравнению с сернокислым или хлористым калием. Эти данные подробно изложены в разделе о калийном удобрении «Агрохимии» Д. Н. Прянишникова. Там же можно найти позднейшие сведения о действии калийного удобрения на подсолнечник и некоторые другие культуры.

[14] Несколько позднее проявилось хорошее действие калийного удобрения на яровую пшеницу в севооборотах, насыщенных сахарной свеклой на мощных черноземах. См. об этом в статьях Д. М. Хейфец в кн. «Орошение сельскохозяйственных культур

в Центрально-черноземной полосе РСФСР», т. 2 (1956). и в «Трудах Почвенного института им. Докучаева», т. 50 (1957).

[15] Третья статья «К вопросу о физиологической кислотности калийных солей», написанная Д. Н. Прянишниковым совместно с Б. А. Голубевым в (1940), представляет краткий обзор работ, выполненных в лаборатории Д. Н. Прянишникова. Отмечено, что разные формы калийных солей в зависимости от природы растения дают различную физиологическую реакцию: в одних случаях хлористый калий при внесении под овес и ячмень проявлял физиологическую нейтральность, а при внесении под кукурузу, подсолнечник, сою и кенаф отчетливо показал физиологическую кислотность.

К разделу «Известкование почв»

[16] Работы, посвященные вопросам известкования, проводились в лаборатории Д. Н. Прянишникова в течение многих лет. Известкованию как приему коренной химической мелиорации кислых почв, которые занимают значительные площади в нечерноземной полосе, Д. Н. Прянишников уделял большое внимание. Без известкования на кислых почвах невозможно возделывание клевера, а также получение высокого эффекта от минеральных удобрений.

Работа «К вопросу об известковании» впервые опубликована в 1919 г., в ней сведены результаты вегетационных опытов, проводимых студентами в течение 22 лет — с 1897 по 1918 г. Этими опытами было отчетливо выявлено действие разных доз и форм извести под отдельные культуры на важнейших типах почв.

Установлена тесная связь между эффективностью известкования и буферными свойствами почв. На подзолистых почвах следует опасаться вредного действия от переизвесткования. Эти опыты позволяют сделать важный для производственных условий вывод о необходимости установления правильных доз извести на кислых почвах. В другой работе — «О влиянии реакции почвы на рост растений» показано, что оптимальная реакция для роста и развития одной и той же культуры будет неодинакова на разных по своим свойствам почвах. Растения лучше переносят подкисление при более высоком содержании кальция в почве и в растворе, что, по-видимому, связано с наличием антагонизма ионов кальция и водорода. Неодинаковое влияние на растение изменения реакции почвы может быть связано не только с проявлением антагонизма кальция и водорода, но и с другими причинами — появлением в растворе подвижных форм алюминия, марганца, изменением азотного, фосфатного режима. Дополнительный материал по этому вопросу можно найти в следующих работах: Б. А. Голубев. Кислые почвы и их улучшение (1954); Н. С. Авдонин. Свойство почвы и урожай (1965); О. К. Кедров-Зихман. Известкование почв и применение микроэлементов (1957); М. Ф. Корнилов, А. Н. Небольсин и др. Известкование кислых почв нечерноземной полосы СССР (1971).

К разделу «Местные удобрения»

[17] Димитрий Николаевич Прянишников, будучи горячим пропагандистом всесторонней химизации земледелия, усиленного развития химической промышленности и максимального увеличения производства минеральных удобрений, в то же время постоянно подчеркивал огромное значение полного использования всех ресурсов местных удобрений, прежде всего навоза. Он отмечал, что навоз является важнейшим источником азота, фосфора и калия, как по громадным абсолютным их количествам, так по их дешевизне и по равномерности распределения на территории сельскохозяйственного использования. Димитрий Николаевич подчеркивал, что с ростом производства минеральных удобрений значение навоза не снижается, а наоборот, возрастает и без правильной организации использования навоза не может быть налажено рациональное применение минеральных удобрений.

В статье «Сравнение действия навоза и минеральных удобрений» (1930) обобщаются результаты двух многолетних полевых опытов Асковской опытной станции в Дании, Мироновской опытной станции, и данные длительного опыта Ротамстедской опытной станции. Задачей изучения было сравнение эффективности действия и последействия навоза и минеральных удобрений, вносимых в равных по содержанию основных питательных веществ дозах на длительный срок, а также вычленение действия органического вещества навоза. Позднее к результатам вышеназванных опытов добавились первые данные полевых опытов, заложенных в 1931 г. на Долгопрудной опытной станции по указаниям Д. Н. Прянишникова.

Анализ этих опытов показал, что при выравнивании элементов питания в навозе и минеральных удобрениях от полного минерального удобрения можно получать равные или даже более высокие эффекты. Снижение эффективности навоза по сравнению с минеральными удобрениями Димитрий Николаевич объяснял меньшим усвоением растениями азота навоза (из-за потерь аммиака через улетучивание, нитратов от вымывания в осеннее и зимнее время и частичного закрепления азота в почве в недоступные для растений соединения). В связи с малым количеством методически выдержанных исследований, способных дать ответ на поставленные вопросы, Д. Н. Прянишников призывал к расширению сети полевых опытов в различных почвенно-климатических зонах по сравнению действия равных доз питательных веществ в навозе и минеральных удобрениях, при длительном их применении.

В последующие годы такие опыты были проведены и результаты их опубликованы в сборниках ВИУА «Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов» (результаты многолетних опытов научно-исследовательских учреждений). Всего вышло четыре выпуска: выпуск I — 1960, выпуск II—1964, выпуск III—1968, выпуск IV—1973. Результаты этих опытов в основном подтвердили ранее сделанные Д. Н. Прянишниковым выводы.

Эти опыты показали большое значение для практики сочетания минеральных удобрений с навозом, при весьма разнообразных формах в различных условиях. Это может быть одновременное внесение в почву органических (навоз) и минеральных удобрений с заделкой на одну и ту же глубину, например под глубокую зяблевую вспашку. Возможно также внесение органических и минеральных удобрений под одну культуру, но с заделкой в разные сроки и на разную глубину, например навоз под основную вспашку, а минеральные удобрения — под культивацию или в рядки при посеве. Наконец, сочетание органических удобрений с минеральными может быть в севообороте, когда навоз вносят под одну культуру, например под озимые, а минеральные удобрения под пропашную культуру, идущую в севообороте после озимых.

Вместе с тем следует решительно возражать против построенных на ошибочной научной основе предложениях о биоминеральных и торфоминеральных удобрениях, которые, как и отвергнутые жизнью органо-минеральные смеси, являются нерентабельными и экономически невыгодными. Методически правильно поставленные опыты для проверки предположения, что минеральные удобрения сами по себе, без одновременного внесения с ними органических удобрений, не могут проявить свое действие, показали ошибочность этих утверждений и ненаучность подобных рекомендаций.

Предложения, высказанные Д. Н. Прянишниковым в статьях «Непризнанный Стассфурт» и «Люпин, фосфорит и зола как замена навоза на тощих землях», сохраняют интерес и в настоящее время, поскольку зола является ценным калийно-фосфатным удобрением.

[18] В главном труде Тюнена (1783—1850) под названием «Изолированное государство» дан анализ влияния расстояния от городов на направленность сельскохозяйственного производства и доходность земледелия. По Тюнену, при удалении от города молочное направление хозяйства сменяется садово-огородным, лесным, плодосменным, скотоводческим, а еще дальше основным занятием становится охота.

[19] Самого пристального внимания заслуживает вопрос об использовании торфа на удобрение там, где встречаются его залежи, в особенности на бедных дерново-подзолистых почвах. Пути его использования могут быть различными — в качестве подстилки, а также для приготовления различного рода компостов. Эти рекомендации

и их значение в повышении плодородия почв освещены в статьях «Торфяное удобрение и его применение на нашем севере» (1925) и «Значение торфа как материала для приготовления торфяного навоза и компоста» (1926).

В статье «О путях повышения урожайности», опубликованной в газете «Правда» (1945), Д. Н. Прянишников высказывается за более широкое использование в нечерноземной полосе многолетнего люпина на зеленое удобрение и дает советы, как можно организовать получение семян многолетнего люпина.

[20] Автор имел в виду крайне засушливые районы юга и юго-востока нашей страны, где недостаток влаги ограничивает действие удобрений.

К разделу «Общие вопросы агрономии и химизации земледелия»

[21] Работы Д. Н. Прянишникова, помещенные в этом разделе, охватывают широкий круг тем: значение севооборота в поднятии урожаев, борьбу против ошибочных концепций травопольной системы земледелия, борьбу против идей мальтузианства, планы мероприятий по подъему земледелия, задачи в области производства минеральных удобрений, подъем урожайности в нечерноземной полосе страны и основные вопросы химизации земледелия в СССР; все они дают научное обоснование применению удобрений в различных почвенно-климатических зонах.

Публикуемые работы Д. Н. Прянишникова характеризуют его как мирового ученого, классика агрономии, активного пропагандиста и страстного борца за претворение в жизнь передовых идей в области химизации отечественного земледелия. Публикация эта представляет интерес не только для истории науки; многие труды, мысли и предложения Д. Н. Прянишникова актуальны для настоящего времени, они вооружают нас в реализации решений партии и правительства в области химизации земледелия и подъема сельского хозяйства нашей страны.

[22] Брошюра Д. Н. Прянишникова «Севооборот и его значение в деле поднятия наших урожаев» была издана в 1945 г. на основе переработки трех лекций (15, 16 и 17) курса «Введение в агрономию». В этой работе, опубликованной в период пропаганды введения универсальных травопольных севооборотов как обязательного элемента травопольной системы земледелия, дано научное обоснование севообороту, как одному из путей интенсификации нашего земледелия. Необходимость чередования культур путем введения правильных севооборотов Д. Н. Прянишников детально обосновывал исходя из наличия четырех групп факторов: химического, физического, биологического и экономического порядка.

В этой статье Д. Н. Прянишников изложил современную теорию севооборота, разработал научную классификацию севооборотов, привел конкретные практические указания о введении правильных севооборотов с учетом почвенных, климатических и хозяйственных условий применительно к отдельным зонам и хозяйствам. Эта работа имела большое значение в критике учения о травопольной системе земледелия. Д. Н. Прянишников писал, что самая мысль о том, что будто бы имеется какой-то один тип севооборотов, пригодный во все времена и у всех народов, является антидиалектичной — таких универсальных севооборотов нет и быть не может. Д. Н. Прянишников рассматривает вопросы чередования культур в севообороте со свойственной ему широтой, опираясь на большой фактический материал, и эта работа, несомненно, имеет большое научное и практическое значение и в настоящее время.

[23] В работах, опубликованных до введения метрической системы, Д. Н. Прянишников употреблял старые меры веса, объема и площадей. Для перевода таких единиц в метрические укажем соотношение:

1 гран – 0,65 г	1 пуд – 0,164 ц
1 верста – 1,07 км	1 десятина – 1,09 га
1 акр (англ.) — 0,40 га	1 бушель (англ.) – 36,4 л
1 куб. сажень – 9,71 куб. м	

В более поздних работах Прянишников перевел опубликованные ранее данные и показывал дозы удобрений и урожай в ц и ц/га. В соответствии с авторской волей в настоящем издании урожаи и дозы так же выражены в единицах метрической системы, что удобнее для читателя.

[24] Статья «Поднятие земледелия на севере как средство облегчить кризис продовольствия и транспорта» относится к 1920 г., когда вызванные империалистической и гражданской войной голод, развал в транспорте создали очень большие трудности в снабжении продовольствием Советской России. Ученый широкого агрономического профиля на основе глубокого анализа зарубежного и нашего хозяйства дает строго научную комплексную программу подъема производительности сельского хозяйства в стране. Главная задача того периода — обеспечить продовольствием Север, включая Москву и другие промышленные районы Севера, по мнению Д. Н. Прянишникова, должна решаться несколькими путями, причем лучше всего используемыми одновременно.

Для достижения этой цели Д. Н. Прянишников рекомендует перестроить хозяйство по следующим основным направлениям: 1) увеличить площади запашки; 2) поднять урожаи хлебов; 3) ввести культуры более продуктивные, чем хлеба, к ним прежде всего относятся культура картофеля и сахарная свекла; 4) лучше использовать пахотные площади, ликвидировать чистые пары, «уплотненные севообороты»; 5) более рационально использовать в пищу людям некоторые ценные продукты полеводства, вместо расходования их в технике или животноводстве.

Выдвигаемые Д. Н. Прянишниковым принципиальные установки о необходимости подъема продуктивности полеводства в нечерноземной полосе европейской части СССР, а также о необходимости расширения животноводства для увеличения снабжения городов продуктами животноводства и для увеличения выхода навоза представляют интерес и в настоящее время. К этому же периоду относятся статьи «Непризнанный Стассфурт» (к вопросу о значении золы как удобрения) (1919), «Люпин, фосфорит и зола как замена навоза на тощих землях» (1919), где Димитрий Николаевич указывает на необходимость более полного использования всех имеющихся местных удобрительных ресурсов для повышения урожая, в то время когда наша страна еще не имела химической промышленности.

[25] Курляндия, Лифляндия, Эстляндия — в настоящее время республики Прибалтики: Литовская ССР, Латвийская ССР и Эстонская ССР.

[26] В связи со статьей «Поднятие земледелия на Севере как средство облегчить кризис продовольствия и транспорта» находятся материалы других работ Димитрия Николаевича, публикуемых ниже. После катастрофической засухи на юго-востоке в 1921 г., повлекшей за собой голод в Поволжье, он выступает на заседании сельскохозяйственной секции Госплана в декабре 1922 г. с основанными на большом фактическом материале предложениями о решении продовольственной проблемы путем увеличения производства зерна и другой сельскохозяйственной продукции в нечерноземной зоне нашей страны.

Нечерноземная зона, представляющая огромную территорию, вследствие благоприятных климатических условий — отсутствие засухи, при рациональном использовании имеющихся в то время возможностей может обеспечить получение гарантированных урожаев зерна. Д. Н. Прянишников указывает пути развития земледелия и животноводства в центрально-промышленных районах, вблизи промышленных городов.

Основные идеи Д. Н. Прянишникова о развитии сельского хозяйства в нечерноземной зоне сводятся к необходимости расширения пахотных площадей в этой зоне, а также к поднятию урожаев путем введения новых источников удобрений. Эти идеи Д. Н. Прянишникова о необходимости интенсификации земледелия в нечерноземной полосе были им развиты в ряде последующих работ.

По мнению Прянишникова, на юго-востоке страны наиболее рационально будет размещать крупные механизированные совхозы. Единоличные мелкотоварные крестьянские хозяйства преобладали в стране до коллективизации, и это затрудняло внедрение неизвестных крестьянам прогрессивных методов. Поэтому многие статьи

Д. Н. Прянишникова имели агитационное значение и показывают яркий пример научной пропаганды.

[27] Д. Н. Прянишников на протяжении всей своей научной деятельности принимал самое активное участие в созидательной работе по подъему нашего земледелия. В первые годы, после революции, когда наша страна переживала большие трудности вследствие гражданской войны и военной интервенции, Димитрий Николаевич выступает в печати с рядом предложений, направленных на улучшение продовольственного положения в нечерноземной полосе с ее крупными промышленными центрами. В то время у нас отсутствовали минеральные удобрения, импорт их был прекращен. Несколько суперфосфатных заводов, построенных еще до революции, практически не работали.

В докладе на заседании сельскохозяйственной секции Госплана «Ближайшие задачи в области производства минеральных удобрений» в качестве первоочередной задачи подъема сельского хозяйства Д. Н. Прянишников выдвигает необходимость производства и применения минеральных удобрений и дает детальный обзор сырьевых источников фосфора, азота и калия в нашей стране. Одновременно он на основе учета конкретных экономических, природных и агротехнических условий разрабатывает стройный план применения минеральных удобрений в России. Применение минеральных удобрений в России (особенно в нечерноземной полосе) является насущной потребностью нашего земледелия — такой вывод делает Прянишников в те годы, когда страна только приступила к восстановлению разрушенного войной народного хозяйства. В это время был составлен план ГОЭЛРО — программа создания в стране фундамента социалистической экономики.

[28] До революции производство суперфосфата в России основывалось на привозных марокканских фосфоритах. Ставка на импорт сырья невыгодна для государства в мирные годы и опасна в военной обстановке. В лаборатории Д. Н. Прянишникова впервые была показана полная возможность производства суперфосфата на основе отечественного сырья. Останавливаясь на вопросе о размещении химических заводов, Димитрий Николаевич уделяет внимание экономической целесообразности размещения, учитывает географию залежей фосфоритов и колчедана, наличие дешевых речных транспортных путей и расположение сернокислотных заводов. Не забывает он и о безопасности заводов на случай войны.

Интересен рассказ о первых шагах по организации производства суперфосфата в первые годы после революции, о выявленных в 1918—1920 гг. залежах, пригодных для открытых разработок, о пуске первого крупного завода суперфосфата в 1920 г.

В статье обращено внимание на первоочередную задачу удобрения орошаемых земель, как дающих более высокую оплату прибавкой урожая.

Эксплуатация низкопроцентных залежей фосфоритов может потребовать более сложной переработки, пути которой были также намечены в лаборатории Д. Н. Прянишникова. Им были указаны преимущества продуктов такой переработки — их высокая транспортабельность при высоком содержании фосфора. В этой работе намечено использование азотной кислоты для разложения фосфорита и приготовления азотнофосфатных удобрений и термической переработки для приготовления калийно-фосфорных удобрений.

С исключительной четкостью показаны в статье возможности использования фосфоритной муки в зависимости от свойств почвы и свойств растений. Здесь же указан оригинальный способ использования физиологически кислых солей для повышения растворимости фосфорита и использования его растениями.

Предположение Д. Н. Прянишникова о преимущественном использовании аммиачных удобрений на северных почвах, где особенно остро недостает азота, не оправдалось, так как высокая физиологическая кислотность сернокислого аммония понижала его эффективность.

[29] В 1925 г. Д. Н. Прянишников выступил со статьей «К вопросу о химификации нашего земледелия», в которой предложил агрономически и экономически обоснованную схему применения органических и минеральных удобрений для европейской ча-

сти СССР. В этой статье он впервые ввел термин «химификация», позднее замененный термином «химизация». Многие положения, развиваемые в этой статье, не потеряли актуальности и в наше время. Интерес представляют мысли Димитрия Николаевича о большой мобильности и быстроте действия минеральных удобрений как промышленного фактора поднятия производительности земледелия. Большое методологическое значение приобретает подход Димитрия Николаевича к изучению вопросов применения удобрений с учетом свойств удобряемых почв и изучением биологических особенностей растений. В вышеназванной статье этот подход к изучению вопросов эффективного применения удобрений Прянишниковым применен к изучению фосфорита. Но он имеет для агрохимии более широкое значение и в классическом труде Д. Н. Прянишникова «Агрохимия» представлен схемой, получившей признание как «Прянишниковский треугольник» в изучении взаимосвязей растения, почвы и удобрения.

Проблеме химизации земледелия СССР в поднятии урожаев Д. Н. Прянишников уделял большое внимание на протяжении многих лет. Он участвовал в составлении перспективных планов развития туковой промышленности в предвоенные и послевоенные годы, в научном обосновании мероприятий по применению удобрений в различных почвенно-климатических зонах и под отдельные культуры. Д. Н. Прянишников всегда отстаивал высокие темпы в развитии химической промышленности, производящей минеральные удобрения для нашей страны, учитывая ее большие посевные площади и преимущества социалистического строя.

Д. Н. Прянишников опубликовал много работ по общим вопросам химизации земледелия СССР. Основной идеей, объединяющей все его работы по химизации, является доказательство первостепенной важности удобрений для подъема урожаев. Д. Н. Прянишников, определяя те или иные задачи химизации, опирался на опыт широкого применения удобрений в зарубежных странах, одновременно он считал необходимым организацию широкой опытно-исследовательской работы с удобрениями в нашей стране и проведение почвенного картирования. Географическая сеть опытов с минеральными удобрениями была создана в середине 30-х годов, большие успехи имеет и почвенная картография.

[30] Верное для своего времени заключение Д. Н. Прянишникова о том, что для европейской части страны первостепенное значение имеет фосфорное удобрение, изменилось под влиянием интенсификации сельского хозяйства. В настоящее время и в черноземной полосе для получения высоких урожаев требуется вносить не только фосфор, но и достаточно высокие дозы азота, а нередко и калия.

[31] Предложение «не заменять навоз минеральными удобрениями, но восполнять ими недостаток навоза» было единственно правильным для маломощных крестьянских хозяйств того времени. В современных крупных специализированных хозяйствах зернового направления для получения высоких урожаев используются главным образом минеральные удобрения, но навоз для удобрения полей также имеет значение и, кроме того, применение его помогает охране окружающей человека среды от загрязнения.

[32] Большой интерес представляет работа Д. Н. Прянишникова «Мальтус и Россия» (1925). В ней Димитрий Николаевич, опираясь на точные научные данные, показал несостоятельность учения Мальтуса об обязательном отставании роста производства от роста народонаселения на земле. Он подчеркнул, что в нашей стране имеются огромные потенциальные возможности повышения урожайности, намечая в качестве первоочередных мероприятий переход к севооборотам с клевером и пропашными культурами и применению удобрений, которые позволят поднять продукцию в 6 раз или даже в 12 раз, если учесть возможное увеличение площади пашни. Выводы Д. Н. Прянишникова являются убедительной отповедью современным неомальтузианцам. На фоне существовавших в то время пессимистических высказываний в духе ложных мальтузианских «теорий» смело прозвучал полный оптимизма голос Прянишникова, показавшего пути быстрого увеличения продовольствия в стране.

Обосновывая свое мнение данными об обеспеченности зерном населения разных стран, Димитрий Николаевич в резкой форме выступил за увеличение производства

мяса и сокращение экспорта хлеба для улучшения питания населения нашей страны.

[33] «У нас и впредь нет шансов пойти по следам промышленных стран» — тезис, связанный с зачаточным уровнем промышленности дореволюционной России и господством мелких хозяйств в сельскохозяйственном производстве, был отвергнут жизнью в эпоху мощного индустриального развития СССР и развития экономической взаимопомощи социалистических стран.

[34] «Факт перенаселенности, в смысле несоответствия густоты населения с системой хозяйства» наблюдался до преобразования мелких единоличных хозяйств в деревне в 30-х годах.

«Изменение форм землевладения» — имеется в виду раздел крупных помещичьих имений и надел землей беднейшего крестьянства после Великой Октябрьской революции.

Социальный состав советского общества в последующие годы резко изменился и к началу 1975 г. выглядел следующим образом: на долю рабочих и служащих приходится 82,2% всего населения (в том числе рабочих — 60,6%), на долю колхозного крестьянства и кооперированных кустарей — 17,8%. Начиная с середины 30-х годов из социальной структуры нашей страны полностью исчезли последние остатки эксплуататорских классов. (Л. Абалкин. Экономический динамизм развитого социализма.— Известия, № 225, от 24 VIII 1975).

[35] «Событий 1914—1921 гг.» — речь идет о потерях населения в результате первой империалистической войны и интервенции против Советской страны.

[36] В статье «Резервный миллиард», опубликованной Прянишниковым в газете «Известия» (1929), автор обращает внимание на возможность получения дополнительного миллиарда пудов зерна в нечерноземной зоне, не знающей засух, для того чтобы быть застрахованными от тяжких последствий катастрофических засух, периодически поражающих юго-восточные районы нашей страны. Получение резервного миллиарда пудов зерна Димитрий Николаевич обосновывал возможностью получения высоких урожаев зерна за счет применения удобрений в районах нечерноземной полосы, где урожаи в меньшей степени, чем на юге, зависят от погоды.

[37] В статье «Расширение посевной площади в нечерноземной полосе в связи с задачей получения в СССР высоких и устойчивых урожаев» (1939) Д. Н. Прянишников убедительно показывает, что расширение посевных площадей в нечерноземной полосе позволяет согласованно решать задачи увеличения валового сбора сельскохозяйственной продукции, застрахованного от колебаний, вызываемых засухами, увеличения производительности труда сельского населения, более благополучного сведения нашего азотного и фосфорного баланса путем расширения посевов клеверов, зеленого удобрения, использования торфа и фосфорита.

Предложения Д. Н. Прянишникова по превращению нечерноземной зоны — зоны достаточного увлажнения — в основную базу производства зерна, льна, картофеля, овощей и кормовых культур для расширения животноводства увязывались с необходимостью использования всех возможных средств повышения урожайности, прежде всего известкования, применения органических и минеральных удобрений.

Идеи Д. Н. Прянишникова о том, что химизация нечерноземной полосы может устранить основной недостаток нашего зернового хозяйства — неустойчивость валовых сборов зерна по годам, о необходимости расширения посевной площади в нечерноземной зоне за счет осушения заболоченных земель (а осушать дешевле, чем орошать, и по основным затратам и по расходам на эксплуатацию), а также введения в культуру пустырей, площадей, занятых кустарником, нашли широкое отражение в Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по дальнейшему развитию сельского хозяйства нечерноземной зоны РСФСР» от 20 марта 1974 г. (Политиздат, 1975, стр. 1—23).

Необходимо отметить, что в годы, когда Д. Н. Прянишников выступал со своими предложениями по переустройству сельского хозяйства нечерноземной полосы, темпы химизации в нашей стране были еще невысокими. Если в то время Д. Н. Прянишников мог планировать получение за счет применения удобрений резервного

миллиарда пудов зерна, то в настоящее время, когда применение удобрений достигло к 1974 г. 63,9 млн. тонн условных единиц, а на 1980 г. планируется поставка не менее 115 млн. тонн *, вполне реально получение дополнительно 2—3 млрд. пудов зерна. Эти вопросы подробнее обсуждены в статьях: А. В. Соколов. «Проблема химизации земледелия в нечерноземной полосе».— Агрохимия, № 11, 1966; В. Н. Прокошев. «Д. Н. Прянишников и зерновое производство в СССР».— Агрохимия, № 11, 1965; И. В. Гулякин. «Удобрение зерновых культур».— Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии, № 1, 1964.

[38] Тесно связана с работой Д. Н. Прянишникова о севооборотах его полемическая статья «Травополье и агрохимия», опубликованная в журнале «Химизация социалистического земледелия» (1937). В этой статье на основе строго научных доказательств была показана несостоятельность догм травополья, ошибочность и вредность противопоставления повсеместного введения травопольной системы земледелия мероприятиям в области химизации.

Опираясь на данные многочисленных опытов научных учреждений, а также на опыт передовиков земледелия, Прянишников убедительно показал, что без прохождения через травополье и при довольно вольном обращении со структурой, но только при больших дозах удобрений и, конечно, на фоне хорошей агротехники, можно получить высокий урожай. Тем самым он решительно опроверг догматическое утверждение сторонников травополья, что до создания прочной структуры почв при помощи многолетних трав применение минеральных удобрений бесполезно. Д. Н. Прянишников, выступая против повсеместного введения экстенсивного травополья, способного затормозить рост производства зерна в стране, предлагал введение плодосменных севооборотов с посевами клевера и пропашных культур и с интенсивным применением органических и минеральных удобрений. Жизнь полностью подтвердила правильность рекомендаций Д. Н. Прянишникова.

[39] В статье «Значение химизации в деле поднятия наших урожаев в предстоящие пятилетия» (1945) подведены итоги развития химической промышленности в СССР в довоенный период, дана картина заметного влияния химизации на общий подъем сельского хозяйства в районах, где минеральные удобрения применяются в широких масштабах (например под хлопчатник в Узбекистане, чайный лист в Грузии, сахарную свеклу в орошаемых районах Киргизии).

Исходя из задачи первоочередного обеспечения минеральными удобрениями 20 млн. га ценных культур (технические, овощные и картофель, сады и виноградники), без удобрения хлебов, Д. Н. Прянишников определил потребность на 1962 г. в 24 млн. тонн стандартных туков (близкая к этому цифра — 25,5 млн. туков была достигнута в производстве удобрений в СССР в 1964 г.) Для того чтобы встретить этот мощный поток удобрений должным образом, Димитрий Николаевич наметил ряд мероприятий для усиления исследования и подготовки кадров. Это — организация головного института, специально по вопросам химизации, с сильно развитыми лабораториями и географической сетью опытов, с твердым финансированием всех этих подразделений, восстановление агрохимических отделов на областных станциях, с тем чтобы через них институт руководил низовой сетью до агрохимических производственных лабораторий на местах включительно; создание особого журнала по агрохимии; улучшение подготовки агрохимиков в вузах.

Многие из намеченных Димитрием Николаевичем мероприятий претворены в жизнь. Создана специальная государственная агрохимическая служба, сейчас происходит ее дальнейшая перестройка и совершенствование.

Темпы химизации в СССР опередили наметки Д. Н. Прянишникова, увеличен выпуск агрономов-агрохимиков, однако замечание Д. Н. Прянишникова о недостатке кадров агрохимиков еще сохраняет свое значение.

---

* Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1975—1980 годы.— Известия, № 57, от 7.III 1976 г.

К разделу «Методические вопросы агрохимии»

[40] В этот раздел включена работа Д. Н. Прянишникова методического характера: «О нормальных смесях для песчаных и водных культур» (1927). Она представляет обзор работ лаборатории Д. Н. Прянишникова по питательным смесям для опытов в песчаных и водных культурах.

Большой теоретический интерес вызывает подход Д. Н. Прянишникова к созданию смесей с оптимальным интервалом реакции для выращивания различных сельскохозяйственных культур. Он показал необходимость учета физиологической реакции тех или иных солей, главным образом служащих источником азота, и учета буферных свойств других солей, в основном фосфатов, способных регулировать изменение реакции почвенного раствора за вегетационный период. Смесь Прянишникова и ее многочисленные модификации, предложенные Домонтовичем и Цинцадзе, широко используются и в настоящее время при постановке вегетационных опытов.

Много ценных методических указаний рассеяно также в других работах Д. Н. Прянишникова. В качестве примера укажем на приведенные выше, в статье «Доступна ли культурным растениям фосфорная кислота фосфоритов», слова: «Не показания реактивов [т. е. не анализы вытяжек] окончательно решают вопрос о достоинстве фосфатов, а показатели растений, по которым следует подбирать и реактивы». Поэтому рекомендованный Вагнером и Маркером раствор лимоннокислого аммония не может стать универсальным для всех случаев оценки фосфатов, поскольку общего реактива, одинакового для всех растений и всех почв, нет и не может быть.

В другой статье — «Какое значение имеют фосфориты при непосредственном их применении» четко определены преимущества вегетационного метода для исследования запутанных вопросов, таких, как вопрос об использовании фосфоритной муки для удобрения. Здесь же имеются указания на путь научного исследования и на необходимость четкого обоснования практических рекомендаций: только зная свойства почвы, особенности сельскохозяйственной культуры и состав сопутствующих удобрений, можно уверенно рекомендовать фосфоритную муку для удобрения.

БИБЛИОГРАФИЯ ОСНОВНЫХ НАУЧНЫХ ТРУДОВ Д. Н. ПРЯНИШНИКОВА ПО ВОПРОСАМ ПРЕВРАЩЕНИЯ АЗОТИСТЫХ ВЕЩЕСТВ В РАСТЕНИЯХ, ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ *

1889

Опыты с минеральными удобрениями под сахарную свекловину.— Известия Петр. с.-х. акад., вып. 3, с. 237.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 277.

1891

Опыты по физиологии и культуре сахарной свекловины.— Известия Петр. с.-х. акад., вып. 3, с. 265.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 291.

1895

О распадении белковых веществ при прорастании. М., тип. Кушнерева, 61 с.— Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 156.

1897

Результаты студенческих работ за лето 1896 года.— Известия Моск. с.-х. ин-та, кн. 2, с. 44.

К фосфоритному вопросу.— Хозяин, № 49, с. 1785.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 63.

1898

Результаты студенческих работ за лето 1897 года.— Известия Моск. с.-х. ин-та, кн. 2, с. 86.

1899

Белковые вещества и их превращения в растении в связи с дыханием и ассимиляцией. М., тип. Кушнерева, 110 с.– Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 211.

Доступна ли культурным растениям фосфорная кислота фосфоритов.— Известия Моск. с.-х. ин-та, кн. 1, с. 96.– См. наст. издание, с. 217.

Etude sur la valeur relative des phosphates minéraux.— [О сравнительной ценности минеральных фосфатов].— Ann. agr., t. 25, N 4, S. 177.

Eiweisszerfale und Atmung in ihren gegenseitigen Verhältnissen.— [Распад белков и дыхание в их взаимозависимости].— Landw. Vers. Sta., Bd. 52, S. 137.

Die Rückbildung der Eiweisstoffe aus deren Zerfallsproducten.— [Регенерация белковых веществ из продуктов их распада].— Там же, с. 347.

1900

Учение об удобрении. Курс лекций. М., тип. Рихтера, 185 с.

К вопросу об оценке костяной муки как фосфорнокислого удобрения.— Хозяин, № 13. с. 425.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 72.

О влиянии влажности почвы на развитие растений.— Журн. опытн. агрон., кн. 1, с. 3.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 317.

---

* Составлена Д. В. Федоровским, Ф. А. Юдиным.

Über den Einfluss der Temperatur auf die Energie des Eiweisszerfalls.— [О влиянии температуры на интенсивность распада белков].— Ber. Dtsch. bot. Ges., Bd. 18, S. 285.
Über die Ausnutzung der Phosphorsäure der schwerlöslichen Phosphate durch höhere Pflanzen.— [Об использовании высшими растениями фосфорной кислоты труднорастворимых фосфатов].– Ibidem, S. 411.

1901

Опыты по изучению фосфорнокислых удобрений. Опыты с азотистыми удобрениями. Опыты с известковыми и калийными удобрениями. Опыты по определению потребности почв в удобрении. (Результаты вегетационных опытов за 1899 и 1900 гг).— Известия Моск. с.-х. ин-та, кн. 2, с. 85.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 27 и 329.
О влиянии солей аммиака на использование фосфатов.— Журн. опытн. агрон., кн. 4, с. 484.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 119.
Zur frage über den relativen Wert verschiedener Phosphate. [К вопросу о сравнительных действиях различных фосфатов].— Landw. Vers. Sta., Bd. 56, S. 107.

1902

Об отношении корней растения к питательным веществам, находящимся в нерастворенном состоянии в почве.— В кн.: Дневник XI съезда русских естествоиспытателей и врачей 1901 года. СПб., тип. Меркушева, с. 383.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 227.
О ходе распадения белков под влиянием 4%-ной серной кислоты по сравнению с распадением в прорастающем семени.— Там же, с. 387.
К характеристике растительных белков.— Известия Моск. с.-х. ин-та, кн. 4, с. 375.— Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 262.
О фосфорнокислых удобрениях.— Вестн. с.-х., № 21, 23, 44, 46, 48, 49.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 46.
К вопросу о влиянии внесения в почву неперепревшей соломы на урожай.– Вестн. с.-х., № 52, с. 3.

1903

Учение об удобрении. Курс лекций [Изд. 2]. М., тип. Рихтера, 212 с.
Результаты нескольких опытов по известкованию.— Журн. опытн. агрон., кн. 3, с. 257.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 332.

1904

К вопросу о растворяющем воздействии корневой системы на минеральный субстрат.— В кн.: Современные вопросы русского сельского хозяйства. СПб.— Избр. соч., т. 2. Изд-во АН СССР, 1953, с. 229.
К вопросу об уксуснокислой вытяжке.— Журн. опытн. агрон., кн. 2, с. 197.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 433.
Zur Frage der Asparagenbildung.— [К вопросу об образовании аспарагина].— Ber. Dtsch. bot. Ges., Bd. 22, H. 1, S. 35.
Zur Frage über die Warzelausscheidungen.— [К вопросу о корневых выделениях].— Ber Dtsch. bot. Ges., Bd. 22, H. 3, S. 184.
Über Ritthausens Klassifikation der pflanzlichen Proteinkörper. [О классификации растительных белков Риттгаузена].— Landw. Vers. Sta., Bd. 60, S. 15.
Über die Einwirkung von 4 prozent Schwefelsäure auf das Legumin. [О действии 4-процентной серной кислоты на легумин].— Ibidem, S. 27.
Über die Assimilierbarkeit von Phosphosaure in verschiedenen Phosphaten im Zusammenhang mit der Frage über Wurzelausscheidungen und physiologischsaure Salze.—

[Об усвояемости фосфорной кислоты различных фосфатов в связи с вопросом о корневых выделениях и физиологически кислых солях].— Bericht V Internationaler Kongress für angewandte Chemie. Bd. 3. Berlin, Dtsch. Verl., S. 748.

Über die Einwirkung von 4%. Schwefelsäure auf die pflanzliche Proteinstoffe und über deren Zerfall in der lebenden Pflanze.— [О действии 4%-ной серной кислоты на растительные белки и об их распаде в живом растении].— Там же, с. 804.

1905

Из результатов вегетационных опытов (1901—1903 гг.). М., тип. Рихтера, 67 с.

Зола, кость и фосфорит.— В кн.: Труды III Съезда деятелей по сельскохозяйственному опытному делу, ч. 1. СПб, тип. Киршбаума, с. 232.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 76.

Из результатов вегетационных опытов 1901—1903 г. Опыты с фосфоритами. Опыты с калийными минералами. Опыты по известкованию.— Известия Моск. с.-х. ин-та, кн. 2—3.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 238, 255 и 339.

Опыты по влиянию различных количеств серы на развитие растений. О значении хлора для растений (в частности, гречихи). Опыты с денитрификацией. Отношение различных почв к удобрению.— Известия Моск. с.-х. ин-та, кн. 2—3.

Über den Einfluss von Ammoniumsalzen auf die Aufnahme von Phosphorsäure bei höheren Pflanzen. Vorläufige Mitteilung.— [О влиянии аммиачных солей на поглощение фосфорной кислоты высшими растениями. Предварительное сообщение].— Ber. Dtsch. bot. Ges., Bd. 23, S. 8.

1906

Развитие основных воззрений в агрономии за истекшее столетие (1806—1906). М., тип. Ун-та, 60 с.

Feldspat und Glimmer als Kaliquellen.— [Полевой шпат и слюда как источник калия].— Landw. Vers. Sta., Bd. 63, S. 151.

Zür Frage über den relativen Wert verschiedener Phosphate.— [К вопросу о сравнительном действии различных фосфатов (сообщение II)].— Landw. Vers. Sta., Bd. 65, S. 23.

1907

Новые азотистые удобрения (Цианамид и норвежская селитра).— Вестн. с.-х. № 14, с. 3.

1908

Учение об удобрении. Изд. 3-е. М., тип. Рихтера, 348 с.

Об отношении агрономической химии к смежным областям знания.— Вестн. с.-х., № 1, с. 9.

Новый способ переработки фосфоритов.— Вестн. с.-х., № 23, с. 3.— См. наст. издание, с. 236.

Die Beziehungen der Agrikulturchemie zu den benachbarten Wissenschaftsgebieten.— [Об отношении агрономической химии к смежным областям знания].— J. f. Landw., Bd. 56, S. 279.

Zur physiologischen Charakteristik von Ammoniumnitrat.— [К физиологической характеристике азотнокислого аммония].— Ztschr. f. Pflernähr. Düng., H. 3, S. 1.

1909

Опыты по влиянию $CaCO_3$ на усвояемость различных фосфатов кальция. Опыты с фосфатами глинозема и железа. Цианамид кальция.— В кн.: Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ за 1904—1907 гг. М., тип. Рихтера, с. 11 и 145.

К физиологической характеристике солей аммония. Опыты с известкованием.— Там же, с. 24, 109.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 143, 343.

Об отношении агрономической химии к смежным областям знания.— В кн.: Труды Первого Менделеевского съезда по общей и прикладной химии в декабре 1907 г. СПб, с. 417.

К вопросу о корневых выделениях.— Там же, с. 448.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 244.

Zur physiologischen Charakteristik der Ammoniumsalze.— [К физиологической характеристике аммиачных солей].— Ber. Dtsch. bot. Ges., Bd. 26a, S. 716.

1910

О химической переработке наших фосфоритов. М., тип. Сомовой. 35 с.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 186.

Какое значение имеют фосфориты при непосредственном их применении.— В кн.: Отчет об опытах по химической переработке фосфоритов и вегетационных опытах с ними. Вып. 1. М., тип. Рихтера (Труды Ком. Моск. с.-х. ин-та по иссл. фосф., серия 2); см. наст. издание, с. 239.

Über den Einfluss von Ammoniumsulfat auf die Phosphorsäure. Aufnahme aus verschiedenen Quellen.— [О влиянии сернокислого аммония на усвоение фосфорной кислоты из различных источников].— Seventh International congress of applied chemistry, London, Section VII Agricultural chemistry. London, Partridge and Cooper, p. 87.

Orthoclas, mica et néphemine comme les sources de potassium pour les plantes.— Ортоклаз, слюда и нефелин как источники калия для растений.— Там же, с. 106.

Sur le cyanamide de calcium et le dicyandiamide.— [О цианамиде кальция и о дицианамиде].— Там же, с. 173.

Über die synthetische Asparaginbildung in den Pflanzen.– [О синтезе аспарагина в растениях].— Ber. Dtsch. bot. Ges., Bd. 28, S. 253. [Совместно с И. С. Шуловым].

1911

Об опытах по химической переработке фосфатов за 1910—1911 гг.— В кн. Отчет об опытах по химической переработке фосфоритов и вегетационных опытах с ними. Вып. 2. М., тип. Рихтера (Труды Ком. Моск. с.-х. ин-та по иссл. фосф., серия 2).

По поводу наших опытов с костной мукой в песчаных культурах (1899—1909).— В кн.: Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ за 1908 и 1909 гг. Отчет 6. М., тип. Рихтера, с. 142.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 85.

Опыты с калийными минералами.— В кн.: Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ за 1908 и 1909 гг. Отчет 6. М., тип. Рихтера, с. 218, рис. Лит-ра в подстр. прим. [Совместно с А. Г. Доярепко].— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 260.

Über den Einfluss von kohlensäuren Kalk auf die Wirkung von verschiedenen Phosphaten.— [О влиянии углекислой извести на действие различных фосфатов].— Landw. Vers. Sta., Bd. 75, S. 357.

1912

Учение об удобрении (Агрономическая химия. Избранные главы). Изд. 4. М., тип. Рихтера, 370 с.

Об опытах по химической переработке фосфоритов. Сообщение второе.— В кн.: Из результатов вегетационных опытов (1910 год) и лабораторных работ. Отчет 7. М., тип. Рихтера.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 202.

О некоторых особенностях обмена веществ у прорастающих люпинов (в связи с питанием аммиачными солями).— Там же, с. 268.

Единство строения белковых веществ и их основных превращений в растительном и животном организме.— Журн. опытн. агрон., кн. 5, с. 673.

Vegetationsversuche mit verschiedenen Kalihaltigen Mineralen.— [Вегетационные опыты с различными калийными минералами].— Landw. Vers. Sta., Bd. 77, S. 399.

1913

Единство строения белковых веществ и их основных превращений в растительном и животном организме. (Доклад на II Менделеевском съезде). М., тип. Рихтера, с. 34.

К вопросу о корневых выделениях в связи с почвоутомлением. М., тип. Рихтера, 27 с.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 329.

Podręcznik nauki o nanozeniu.— [Учение об удобрении] — Nakladem Centr. t-wa Rolniczego, 383 p. (Serya trzecia, Podręczniki, № 2).

Об опытах с фосфатами в 1910—1912 годах.— В кн.: Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ, т. 8. М., тип. Рихтера.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 96.

Quantitative Bestimmung der im Boden vorhandenen absorptiv gebundenen Basen.— [Количественное определение поглощенных оснований в почве].— Landw. Vers. Sta., Bd. 79—80, S. 667.

La synthèse des corps amidės aux depens de l'ammoniaque absorbie par les racines.— [О синтезе амидов из аммиака, поглощенного корнями].— Rev. gen. Bot., t. 25, S. 5.

1914

Об опытах с фосфоритами в отчетный период.— В кн.: Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ, т. 9, М., тип. Рихтера, 1914.

О фосфате Пальмера.— В кн.: Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ, т. 9. М., тип. Рихтера. с. 152 (совместно с И. В. Якушкиным).— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 115.

Об отношении этиолированных проростков кукурузы и люпина к аммиаку и нитритам (по данным С. И. Калинкина).— В кн.: Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ, т. 9. М., тип. Рихтера, 1914, с. 559.— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 302.

Sur la question des excrétions nuisibles des racines.— [К вопросу о выделении питательных веществ корнями].— Rev. gén. Bot., t. 25-bis, p. 563.

1916

Недосевы, минеральные удобрения и военные нужды. М., тип. Сомовой, с. 30.

Аммиак как альфа и омега обмена азотистых веществ в растении.— В кн.: Сборник статей, посвященный К. А. Тимирязеву. М., тип. Кушнерева, с. 241.— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 308.

О влиянии углеводов на отношение люпина к солям аммония. О влиянии эфира (и других растворителей жиров) на всхожесть семян.— В кн.: Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ, т. 10. М., тип. Рихтера, с. 174 (совместно с О. Н. Кашеваровой).

1917

Метод изолированного питания и его значение при изучении некоторых вопросов физиологии растений.— Журн. Русск. бот. об-ва, т. 2, № 1—2, с. 67.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 434.

1919

Непризнанный Стассфурт. К вопросу о значении золы как удобрения. М., тип. Сазоновой, 14 с.— См. наст. издание, с. 339.
Люпин, фосфорит и зола в безнавозном хозяйстве Севера. М., Кн. изд-во Петр. акад., 18 с.— Избр. соч., т. 3. М., «Колос», 1965, с. 580.
К вопросу об известковости (по данным вегетационных опытов).— В кн.: Известкование почвы в связи с внесением удобрений. М., тип. «Русск. вед.», с. 94.— См. наст. издание, стр. 283.

1920

Поднятие земледелия на Севере как средство обеспечить кризис продовольствия и транспорта. М., Госиздат, 1920, 38 с.— См. наст. издание, с. 404.
Наши урожаи и минеральные удобрения. М., 19-я тип. МСНХ, 1920, 22 с.
Технические мероприятия к поднятию земледелия в так называемой промышленной полосе. М., 10-я гос. тип., 26 с.

1921

Ближайшие задачи в области производства минеральных удобрений. (Доклад Сельскохозяйственной секции Госплана). М., Госиздат, 1921, 39 с.— См. наст. издание. с. 424.
Об отношении растений к аммиаку.— В кн.: Дневник I Всероссийского съезда русских ботаников в Петрограде в 1921 году при Российской академии наук. Пг., Гл. бот. сад, с. 65.
О химической переработке наших фосфоритов.— Научно-техн. вестн. 1921, № 2, с. 22.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 116.
От азота воздуха к азоту нервной и мышечной ткани.— Красная новь, 1921, № 2, с. 133.— Избр. соч., т. 3. М., «Колос», 1965, с. 449.
Как бороться с недостатком навоза. М., 11-я тип. МСНХ, 1922, 22 с.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 213.
Учение об удобрении. Изд. 5-е, Госиздат, 426 с.
Поднятие земледелия на Севере как средство облегчить кризис продовольствия и транспорта. Изд. 2-е. М., «Агрикультура», 24 с.– См. наст. издание, с. 404.
Поднятие земледелия в нечерноземной полосе как путь к ослаблению зависимости от колебаний климата на юго-востоке.— С.-х. жизнь, № 6, с. 2.
Über den Aufbau und Abbau des Asparagins in den Pflanzen.– [Об образовании и распаде аспарагина в растениях].— Ber. Dtsch. bot. Ges., Bd. 40, S. 242.
Das Ammoniak, als Anfangs- und Endprodukt des Stickstoffwechsels in den Pflanzen.— [Аммиак как начальный и конечный продукт обмена азотистых веществ в растении].— Landw. Vers. Sta., Bd. 99, S. 267.

1923

Люпин, фосфорит и зола как замена навоза на тощих землях. М., Гостехиздат, 26 с.— См. наст. издание, с. 347.
Поднятие земледелия в нечерноземной полосе как путь к ослаблению зависимости от колебаний климата на юго-востоке. М., «Новая деревня», 10 с.
Die Düngerlehre.— [Учение об удобрении].— Berlin, Verl. Parey, 1923, VIII, 450 S.
К вопросу о сравнительном использовании аммиака и нитратов высшими растениями.— Журн. Русск. бот. об-ва, т. 8, с. 5.— Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 325.
Новые течения в области применения удобрений.— В кн.: Новое в агрономии. М., Кооп. изд-во, с. 48.
Sur l'assimilation de l'ammoniaque par les plantes supérieurs.— [Об усвоении аммиака высшими растениями].— C. R. Acad. Sci., Paris, t. 177, p. 603.

Zur Frage über die Bedeutung des Calciums für die Pflanzen.— [К вопросу о значении кальция для растений].— Ber. Dtsch. bot. Ges., Bd. 41, S. 138.
Phosphoritlager in Russland im Lichte der neueren Forschungen.— [Залежи фосфоритов в России в свете новых данных].— Zs. f. Pfl. Ernähr. Düng., Tl. B, H. 6, S. 1.

1924

К физиологической характеристике азотнокислого аммония.— Научно-агрон. журн., № 1, с. 22.— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 320.
К вопросу об единстве основных превращений азотистых веществ в растительном и животном организме.— Научно-агрон. журн., № 3, с. 179.— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 325.
О значении фосфатов для нашего земледелия и о расширении возможностей непосредственного применения фосфоритов.— В кн.: Фосфориты как непосредственное удобрение. (Труды НИУ, вып. 12). Л., НХТИ, с. 19.— См. наст. издание, с. 244.
Что препятствует развитию суперфосфатного производства в России? — Техн.-экон. вестн., т. 4, № 6, с. 380.
Asparagin und Harnstoff.— [Аспарагин и мочевина].— Biochem. Zs., Bd. 150, S. 407.
Sur l'assimilation de l'ammoniaque par les plantes supérieurs.— [Об ассимиляции аммиака высшими растениями].— Rev. gén. Bot., t. 36, S. 5.
Sur le rôle de l'asparagine dans les transformations des matières azotées chez les plantes.— [О роли аспарагина в превращении азотистых веществ].— Там же, с. 108.

1925

Аммиак, нитраты и нитриты как источники азота для высших растений.— В кн.: Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ, т. 13. М., с.-х. акад., с. 1.— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 338.
«Мальтус» и Россия (Современная проблема сельского хозяйства).— Вестн. с.-х., № 3, с. 57.— См. наст. издание, с. 472.
Развитие азотной промышленности на Западе и наше земледелие.— Пути с.-х., № 1—2, с. 37.
О разложении фосфорита с помощью торфа.— Пути с.-х., № 4, с. 20.— Избр. соч., т. 3. М., «Колос», 1965, с. 496.
О влиянии нейтральных солей на разложение фосфорита торфом и почвой.— Научно-агрон. журн., № 4, с. 235.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 266.
К вопросу о химификации нашего земледелия.— Успехи агрон., кн. 1, с. 13.— См. наст. издание, с. 444.
Азотная промышленность и наше земледелие.— Техн.-экон. вестн., № 9, с. 581.
Zur physiologischen Charakteristik von Ammoniumnitrat.— [О физиологической характеристике азотнокислого аммония].— Zs. f. Pflernähr. Düng., Abt. A, Bd. 4, S. 242.
Sur la capacité totale d'absorption du sol et sur la stabilité du complexe absorbant.— [Об общей емкости поглощения почвы и об устойчивости поглощающего комплекса].— Ann. Sci. agr., Ann. 42, № 3, p. 161.

1926

О значении минеральных удобрений для нашего земледелия.— В кн.: Минеральные удобрения, усиление их производства и удешевление их стоимости. М., Госплан РСФСР, с. 5.
Роль химии в современном земледелии.— В кн.: Успехи и достижения современной науки и техники. М., «Работник просвещения», с. 185.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 407.
Минеральные удобрения и овес.— Пути с.-х., № 11—12, с. 51.
Применение извести.— В кн.: Фосфорит и известь (Труды НИУ, вып. 34). М.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 200.

Значение торфа как материала для приготовления торфяного навоза и компоста.— Там же, с. 72.— См. наст. издание, с. 364.
Ammoniak. Nitrate und Nitrite als Stickstoffquellen für höhere Pflanzen.— [Аммиак, нитраты и нитриты как источники азота для высших растений].— Ergebnisse der Biologie. Bd. 1. Berlin, Springer, S. 407.
The problem of a proper nutrient medium.— [Проблема нормальной питательной смеси].— Soil Sci., v. 21, № 5, p. 327. [Совместно с М. К. Домонтовичем].
Über die aufschliessende Wirkung von Moostorf aus Phosphorit.— [О растворяющем действии мохового торфа на фосфорит].— Forstschr. Landw., Jg. I, H. 1, S. 1.
La question des engrais dans l'Union des Soviets.— [Вопрос об удобрениях в Советском Союзе].— Rev. int. Renseign. agr., v. 4, № 4, S. 910.
Соликамский калий в наше земледелие.— Известия, 17.XII, № 292.— См. наст. издание, с. 255.

1927

Собрание статей и научных работ. Юбилейный сборник, т. 1—2. М., «Работник просвещения».
Т. 1, 486, с. I. Статьи по вопросам сельскохозяйственного образования, удобрения и мер поднятия производительности земледелия.
Т. 2, 532 с. Работы по вопросам превращения азотистых веществ в растениях и фосфатного питания растений.
Хроническая погрешность в оценке действия минеральных удобрений. М., «Новая деревня», 16 с.— Собр. статей и научных работ, т. 1. М., «Работник просвещения», 1927, с. 478.
Агрохимия в СССР.— В кн.: Наука и техника в СССР. 1917—1927. Т. I. М., «Работник просвещения», с. 419.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 7. [Совместно с М. К. Домонтовичем].
О нормальных смесях для песчаных и водных культур.— В кн.: Юбилейный сборник, посвященный И. П. Бородину. Л., Изд. Русск. бот. об-ва, с. 333.— См. наст. издание, с. 530.
Минеральные удобрения и развитие сельского хозяйства.— Пути с.-х., № 10, с. 144.
Über die Wirkung von Kalk und Phosphorit auf Podsolböden.— [О действии извести и фосфорита на подзолистые почвы].— Abstrakts of the Proceedings of the First international congress of soil science. June 13—22, 1927. Washington, Commission I—II. Washington, publ. Amer. org. comm., p. 127. (Совместно с Д. В. Дружининым).
Über physiologische Azidität von Ammoniumnitrat.— [О физиологической кислотности нитрата аммония].— Biochem. Zs., Bd. 182, S. 204.

1928

Отношение различных культур к калийным удобрениям и возможный спрос на калийные соли со стороны сельского хозяйства.— В кн.: Очередные вопросы удобрения на Втором агрономическом совещании при НИУ в феврале 1927 г. (Труды НИУ, вып. 50). М., НИУ ВСНХ, с. 32.— См. наст. издание, с. 258.
Аммиак в удобрениях и в жизни растений. (Сообщения 1 и 2).— В кн. Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ, т. 14. М., тип. «Труд», с. 7 и 276. [Совместно с В. С. Ивановой].— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 367.
Минеральные удобрения в странах Западной Европы.— В кн.: Труды III Всесоюзного научно-агрономического совещания Сахаротреста. М., с. 377.
О факторах, влияющих на отношение растений к аммиаку как источнику азота.— В кн.: Труды Центрального научно-исследовательского института сахарной промышленности, вып. 1. М., НТО ВСНХ, с. 40.— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 385.

О превращении белковых веществ в растениях. (Параллель с животным организмом).– В кн.: Дневник Всесоюзного съезда ботаников в Ленинграде в январе 1928 года. Л., Гос. русск. бот. об-во, с. 9.

Über die Azidität und Adsorptions — Kapazität der Böden. (Совместно с Д. Л. Аскинази).— [О кислотности и емкости поглощения почв].— Proceedings and papers of the First international congress of soil science. June 13, 1927. Washington, Commission II. Washington, publ. Amer. org. comm., p. 110.

Die Bodenazidität un ihre Bedeutung bei der Kolkung und bei der Phosphoritdüngung.— [Кислотность почвы и ее значение при известковании и применении фосфорита].— Там же, с. 118. [Совместно с Б. А. Голубевым].

Über die Ausscheidung von Ammoniak durch die Pflanzenwurzeln bei Säurevergiftung.— [О выделении аммиака корнями растений под действием кислот].— Biochem. Zs., Bd. 193, H. 1—3, S. 211.

Химизация земледелия и положение агрохимии в наших вузах.— Известия 31.V, № 125.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 431.

Химизация земледелия на Западе и наши перспективы.— Правда, 1.VII, № 151.

Проблемы химизации земледелия.— Экон. жизнь, 4.IX, № 205.

Химизация земледелия в Средней Азии должна вестись в ударном порядке.— Известия, 6.IX, № 207.

1929

О поглощении и выделении аммиака корнями растений.— Доклады АН СССР, № 14, с. 327. [Совместно с В. С. Ивановой].— Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 403.

К физиологической характеристике хлористого калия.— Там же, с. 332. [Совместно с С. И. Иноземцевым].— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 158.

Химизация страны и задачи научного исследования в области агрономической химии и физиологии растений.— В кн.: Материалы Всесоюзного совещания по вопросам научно-исследовательской агрономической работы в сахарной промышленности в Киеве 12—19 декабря 1928 г. М., НТУ ВСНХ, с. 12 (Труды ВНИИС, вып. 2).

О минеральных удобрениях в сельском хозяйстве.— В кн.: Стенографический отчет 2-го Всероссийского агрономического съезда. М., «Новая деревня», с. 103.

Сравнение действия навоза и минеральных удобрений.— Удобрение и урожай, № 1, 2 и 5.— См. наст. издание, с. 339.

Возможное значение химизации в поднятии земледелия.— Агроном, № 3, с. 22.

Zur Frage nach der Ammoniakernährung von höheren Pflanzen.— [К вопросу об аммиачном питании высших растений].— Biochem. Zs., Bd. 207, S. 341.

Die Einheitlichkeit der Prinzipien im Stickstoff — Wechsel bei Pflanzen und Tieren.— [Единство принципов азотистого обмена у растений и животных].— Die Naturwissenschaft in der Sowjet-Union. Berlin, Ost-Europa-Verlag, S. 215.

Минеральные удобрения и расширение посевной площади. [Из доклада на 2-ом Всероссийском агросъезде].— С.-х. газета, 9.III, № 8.

Резервный миллиард. [Химизация земледелия нечерноземной полосы].– Известия, 16.VI, № 136.– См. наст. издание, с. 484.

1930

Об отношении проростков свекловицы к аммиачному и нитратному азоту.— В кн.: Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ, т. 15. М., изд. Агрохим. опытн. ст., с. 525. [Совместно с В. С. Ивановой].— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 390.

К физиологической характеристике калийных солей.— Доклады АН СССР, № 24, с. 645. (Совместно с В. В. Буткевичем).— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 163.

Über den Einfluss der Bodenreaktion auf den Wuchs der Pflanzen.— [О влиянии реакции почвы на рост растений].— Abstracts of the proceedings of the Second international congress of soil science. Juli 20, 1930, Leningrad — Moscow, Commission I—III. M., Publ. off. State plan. comm. USSR, p. 45.

Über den Einfluss der pH auf das Pflanzenwachstum.— [О влиянии pH на рост растений].— Internationale Gesellschaft für Bodenkunde. Verhandlungen der IV Kommission. Königsberg. Berlin, Int. Ges. Bodenkunde, S. 106.

Проблема урожайности и азотный минимум в химической промышленности.— Известия, 4.VI, № 152.

1931

Агрохимия. Вып. I. М., Центр. ин-т заочн. обучения НКЗ СССР, 40 с.

Об образовании аммиака при редукции нитратов у высших растений.— Докл. АН СССР — А. М.— Л., № 8, с. 205 [Совместно с В. С. Ивановой].— Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 420.

О влиянии реакции почвы на рост растений.— Удобрение и урожай, № 1, с. 53.— См. наст. издание, с. 298.

Ближайшие пути разрешения азотного вопроса для Восточной Сибири.— Удобрение и урожай, № 10, с. 887.

Die Stickstoffernährung der grünen Pflanzen.— [Питание азотом зеленых растений].— Jahresbericht der Schlessischen Gesellschaft für vaterländische Kultur. 104 Chemische Sektion. Sitzung. von 11/XII. Breslau, Marcus, S. 36.

Люпин — на службу социалистическому земледелию.— Соц. земледелие, 22.VII, № 111.— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, с. 493.

Азот — основное звено в борьбе за высокие урожаи.— Соц. земледелие, 10.IX, № 250.

1932

Агрохимия. Вып. 2. М., Сельхозгиз, 32 с. (Центр. ин-т заочн. обучения НКЗ СССР).

Об отношении кукурузы к калийным солям.— Докл. АН СССР — А, с. 93.— Избр. соч., т. 4. М., Изд-во АН СССР, 1955, с. 298.

Азотный вопрос в земледелии и химической промышленности.— Химизация соц. земледелия, № 10, с. 11.— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 401.

О физиологической кислотности калийных солей.— Химизация соц. земледелия, № 5, с. 28.— Избр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 303.

Аммиак в жизни растений и в практике удобрений.— Химизация соц. земледелия, № 9—10, с. 28.

О производстве сложных минеральных удобрений.— Химстрой (Технико-экон. бюлл. проектирования и строительства химической индустрии), № 3, с. 87.

Основные задачи в области химизации земледелия.— Сорена, вып. 8, с. 39.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 435.

Analyse der anorganischen Stickstoffverbindungen, NH_3, NO_2, NO_3.— [Определение неорганических азотистых соединений: NH_3, NO_2, NO_3].— Handbuch der Planzenanalyse, Bd. 2. Wien, Springer, S. 77. [Совместно с А. А. Шмуком].

Азот – основное звено в борьбе за высокие урожаи.– Соц. земледелие, 10.IX, № 250.– В кн.: Популярная агрохимия. М. «Наука», 1965, с. 141.

1933

Химизация земледелия в Западной Сибири. Л., АН СССР, 15 с. (Труды Июньской сессии, посвященной проблемам Урало-Кузнецкого комбината).

Источники азота растений.— В кн.: Труды Ноябрьской юбилейной сессии, посвященной пятнадцатилетней годовщине Октябрьской революции. Л., Изд-во АН СССР, с. 369.

К. К. Гедройц как агрохимик.— Химизация соц. земледелия, № 1, с. 12.— Избр. соч., т. 4, М., Изд-во АН СССР, 1955, с. 298.

Пути поднятия земледелия в Уральской области в ближайшие годы.— Уральский рабочий, 17.VII, № 164.

Über physiologische Azidität der Kaliumsalze.— [О физиологической кислотности калийных солей].— Bodenfruchtbarkeit und Anwendung der Dünger in der UdSSR, S. 156 (Abhandlungen der Sowjet Sektion der Internationalen bodenkundlichen Gesellschaft. Bd. 2. Kommission IV. Bodenfruchtbarkeit).

Über verschiedene Absorptionsenergie von Kation und Anion aus den NH_4NO_3.— Lösungen in Abhängigkeit von äusseren und inneren Verhältnissen.— [О влиянии внутренних и внешних условий на энергию поглощения катиона и аниона из раствора NH_4NO_3].— Там же, с. 199.

Über die Bedingungen der reichlichen Bildung von NH_4 bei Reduktion von NO_3 durch höhere Pflanzen.— [Об условиях обильного образования NH_4 при восстановлении NO_3 высшими растениями].— Там же, с. 200. [Совместно с В. С. Ивановой].

Über die Aufnahme von NH_4^+, Cl^- и SO_4^{2-} aus der Lösungen von NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$.— [О поглощении NH_4^+, Cl^- и SO_4^{2-} из растворов NH_4Cl и $(NH_4)_2SO_4$].— Там же, с. 203.

Über den Einfluss von verschiedenen Salzen und die Reaktion des Mediums auf Chlorophyllbildung der Zuckerrübenblätter.— [О влиянии различных солей и реакции среды на образование хлорофилла в листьях сахарной свеклы].— Там же, с. 204. [Совместно с В. В. Буткевичем].

1934

Агрохимия. М.— Л., Сельхозгиз, с. 399.

То же. Харків, Держасільгоспвидавн, 1934, 414 с. [на укр. яз.].

Черты параллелизма в обмене азотистых веществ у животных и растений.— В кн.: Проблемы белка. Труды Белковой конференции, Москва, 10—14 мая 1933 г. М.— Л., Биомедгиз, с. 159.

Основные направления в химизации сельского хозяйства.— В кн.: Проблемы Таджикистана. Труды Первой конференции по изучению производительных сил Тадж.ССР, т. 2. Л., Изд-во АН СССР, с. 25.

Развитие химической промышленности — мощный рычаг поднятия урожаев.— Химизация соц. земледелия, № 1, с. 33.

Über die äusseren und inneren Bedingungen der Ausnutzung des Ammoniakstikstoffs durch die Pflanzen.— [О внешних и внутренних условиях использования аммиачного азота растениями].— Tl. 2 — Zs. f. PflErnähr., Dung. Bd. 33, H. 3—4, S. 134.

Über das Aufschliessen der Rohphosphate durch die Wurzelausscheidungen von Lupinen.— [О разложении фосфорита корневыми выделениями люпина].— Phosphorsäure, Bd. 4, S. 1.

Проблема поднятия урожаев и азотный баланс в нашем земледелии.— Известия, 10.V, № 108.

1935

О влиянии внутренних и внешних условий на отношение растений к аммиачному и нитратному азоту.— В кн.: Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ, т. 16. Л., Химтеоретиздат, с. 1. [Совместно с В. С. Ивановой].— Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 424.

Задачи химизации земледелия СССР.— Плановое хозяйство, № 3, с. 67. [Совместно с А. Н. Лебедянцевым].— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 459.

Über den Einfluss des Entwickelungsstadium auf die Ausnutzung des Ammoniak und Nitratstickstoffe durch die Pflanzen.— [О влиянии стадии развития на использование аммиачного и нитритного азота растениями].— Transaction of the Third international congress of soil science. Oxford. England, 1935, v. 1. Commission papers. London, Murby Co., p. 207.— Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 453.

1936

Агрохимия. Общий курс. Изд. 2-е, испр. и доп. М., Сельхозгиз, 494 с.

Агрономическая химия.— Энциклопедический словарь Гранат, т. 1 (дополнительный). М., с. 181.

Буссенго — основатель современной агрохимии.— В кн.: Буссенго Ж. Б. Избранные произведения по физиологии растений и агрохимии. Л., Сельхозгиз, с. 5.— Избр. соч., т. 3. М., Изд-во АН СССР, 1955, с. 315.

Развитие взглядов на питание растений и роль Либиха в создании современного учения об удобрении.— В кн.: Либих Ю. Химия в приложении к земледелию и физиологии. М.— Л., Сельхозгиз, с. 5.

Значение химизации в поднятии наших урожаев и придании им устойчивости.— В кн.: Почвоведение и агрохимия (Труды Майской сессии АН СССР, 1935). М.— Л., Изд-во АН СССР, с. 353.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 482.

Азотный баланс в земледелии и значение культуры бобовых.— В кн.: Современные вопросы сидерации. М., ВАСХНИЛ, 1936, с. 6.— Избр. соч., г. 3. М., «Колос», 1965, с. 460.

Азотный баланс в нашем земледелии.— Химизация соц. земледелия, № 9, с. 5.

Столетие заложения основ современной агрохимии трудами Буссенго.— Природа, № 6, с. 121.

Основные факторы повышения урожайности.— Фронт науки и техники, № 2, с. 64.

Сто лет агрономической химии.— Известия, 30.V, № 125.— В кн.: Популярная агрохимия. М., «Наука», 1965, с. 97.

Азот и урожай. (Пути разрешения азотного вопроса в СССР). К расширению посевов клевера и люцерны.– Правда, 11.XII, № 340.

1937

Покушение с негодными средствами. (Ответ на статью т. Кукса).— Соц. реконстр. сельск. хоз-ва. М., № 9—10, с. 154, № 11—12, с. 205.— В кн.: Популярная агрохимия. М., «Наука», 1965, с. 293.

Травополье и агрохимия.— Химизация соц. земледелия, № 9, с. 10.— См. наст. издание, с. 503.

Агрохимия. Баку, Азернешр, 426 с. [На азерб. яз.].

Размеры химической промышленности и вопрос о севообороте в третьей пятилетке.— Вестн. АН СССР, № 7—8, с. 33.— В кн.: Популярная агрохимия. М., «Наука», 1965, с. 319.

Урожаи и удобрения. (Перспективы производства и использования минеральных удобрений).— Известия, 6.VI, № 106.— В кн.: Популярная агрохимия. М., «Наука», 1965, с. 313.

1938

Агрохимия. Ереван, Гос. изд-во Арм.ССР, 535 с. [На армянск. яз.].

Представляет ли выделение аммиака корнями растений только посмертное явление. (Возражение на статью д-ра Энгеля).— Известия АН СССР, ОМЕН, серия биол., № 5—6, с. 1349.— Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 457.

Новые перспективы для развития туковой промышленности в третьем пятилетии.— Химизация соц. земледелия, № 7, с. 63.— Избр. соч., т. 3. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 494.

Внедрение минеральных удобрений — работа на оборону страны.— Соц. земледелие, 29.III, № 72.– В кн.: Популярная агрохимия. М., «Наука», 1965, с. 346.

1939

Агрохимия. Общий курс. Изд. 2-е, испр. и доп. Тбилиси, «Техника да шрома», 560 с. [На груз. яз.].

Расширение посевной площади в нечерноземной полосе в связи с задачей получения в СССР высоких и устойчивых урожаев.— В кн.: Вопросы окультуривания вновь осваиваемых земель. М., Сельхозгиз, с. 5.— См. наст. издание, с. 491.

1940

Агрохимия. Изд. 3-е, доп. М., Сельхозгиз, 1940, 644 с.
К вопросу о физиологической кислотности калийных солей. (Труды с.-х. акад. им. Тимирязева, т. V, вып. 1. Агрохимия).— В кн.: Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ, т. 3. М., «Советская наука», с. 7. [Совместно с Б. А. Голубевым].— См. наст. издание, с. 270.
Об условиях использования аммиачного азота растениями.— В кн.: Питание растений азотом и некоторыми зелеными элементами. М., с. 6. (Всесоюзный научно-исследовательский институт удобрений, агротехники и агропочвоведения, вып. 26).— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 445.

1941

О минеральных удобрениях, навозе и системе их применения.— Совхозная газета, 15.V, № 20 [Совместно с В. М. Клечковским].— Избр. соч., т. 3. М., «Колос», 1965, с. 249.
Агрохимия на службе урожая. (По материалам Всесоюзной с.-х. выставки).— Известия, 25.V, № 122.— В кн.: Популярная агрохимия. М., «Наука», 1965, с. 102.

1942

Насущные вопросы сельского хозяйства Средней Азии.— Соц. сельск. хоз-во, № 9, с. 13.
Наши достижения и очередные задачи в области химизации земледелия.— Почвоведение, № 3—4, с. 3.
Изменить систему удобрения почвы в хлопково-свекловичных севооборотах Узбекистана.— Правда Востока, 14.III, № 62.— Избр. соч., т. 4. М., Изд-во АН СССР, 1955, с. 193.

1943

Роль химизации в повышении урожайности полей.— Соц. земледелие, 11.II, № 18.
Чем заменить азотистые удобрения под хлопчатник во время войны.— Правда Востока, 16.V, № 105.— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 497.

1944

Лекции по курсу «Введение в агрономию», № 1—21. М., 152 с. (на стеклографе).— Избр. соч., т. 3. М., «Колос», 1965, с. 9.
О севооборотах и системе удобрения в хлопковых районах Средней Азии.— В кн.: Научный отчет ВНИИ удобрений, агротехники и агропочвоведения за 1941—1942 гг. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, с. 5.— В кн.: Об удобрении полей и севооборотах. М., Изд-во Мин-ва с.-х. РСФСР, 1962, с. 53.
Чем заменить азотистые удобрения под хлопчатник во время войны.— Там же, с. 20.— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953.
Новые перспективы применения зеленого удобрения в европейской части Союза.— Там же, с. 22.
Представления о круговороте азота до Лавуазье и после него.— Природа, № 2, с. 18.
То же.— Успехи химии, т. 13, вып. 2, с. 162.
Перспективы применения зеленого удобрения.— Совхозная газета, 12.I, № 4; 4.III, № 19.

1945

Азот в жизни растений и в земледелии СССР. М.— Л., Изд-во АН СССР, 197 с.— См. наст. издание, стр. 7.
То же [на польск. яз.]. Warszawa, 1951, 154.
Севооборот и его значение в деле поднятия наших урожаев. М., С.-х. акад. им. К. А. Тимирязева, 34 с.— См. наст. издание, с. 372.
Основные черты обмена азотистых веществ в растениях.— Известия АН СССР, серия биол., № 2, с. 147.
Значение химизации в деле поднятия наших урожаев в предстоящие пятилетия.— В кн.: Сборник научных работ факультета агрохимии и почвоведения. М., с. 5 (Труды Московской с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева, вып. 30).— См. наст. издание, с. 515.
Пути обеспечения азотом нашего земледелия в ближайшие годы.— В кн.: Научная конференция Московской сельскохозяйственной академии, 6—13 декабря 1944 г. (Докл. Московской с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева, вып. 2, стр. 97).— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 505.
Новые перспективы широкого применения зеленого удобрения в ближайшие годы.— Соц. земледелие, 20.II, № 22.— Избр. соч., т. 2. М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953, с. 500.
О путях повышения урожайности.— Правда, 9.IV, № 85.
Химизация земледелия нашей страны.— Труд, 12.VI, № 136.

1946

Агрохимия. София, Изд. землед. кооп. друж., 888 с. [На болгарск. яз.].
Пути повышения урожайности и увеличения продуктивности сельского хозяйства Пермской области. Пермь, Обл. изд-во, 32 с. [Совместно с И. И. Гунаром].— Избр. соч., т. 3. М., «Колос», 1965, с. 264.

1947

Обмен азотистых веществ и питание растений.— В кн.: Юбилейный сборник, посвященный тридцатилетию Великой Октябрьской социалистической революции. (В двух частях). М., Изд-во АН СССР, с. 306.— См. наст. издание, с. 197.
Основные черты обмена азотистых веществ в растениях.— В кн.: Юбилейная сессия (200 лет) Академии наук СССР, т. 2. М.— Л., Изд-во АН СССР, с. 388.

1948

Поднимем плодородие почвы.— Соц. земледелие, 1.I, № 1.

Сборники статей, научных работ и избранные произведения Д. Н. Прянишникова

Собрание статей и научных работ. Юбилейный сборник Т. 1—2. М., «Работник просвещения», 1927.
Т. I.— Статьи по вопросам сельскохозяйственного образования, по вопросам удобрения и мер поднятия производительности земледелия, 488 с.
Т. II.— Работы по вопросам превращения азотистых веществ в растениях и по вопросам фосфатного питания растений. 532 с.
Избранные сочинения (в четырех томах). М., Изд-во АН СССР.
Т. I.— [Азот в жизни растений. Отв. ред. Н. А. Максимов, его же вступительная статья]. 1951, 495 с.

Т. II.— [Фосфорные удобрения и их использование. Калийные удобрения. Местные удобрения. Работы по разным вопросам агрохимии. Отв. ред. А. Л. Курсанов]. 1953, 492 с.

Т. III.— [Агрохимия. Изд. 4-е перераб. и дополн. автором. Отв. ред. Н. А. Максимов, его же послесловие]. 1952, 634 с.

Т. IV.— [Статьи по вопросам химизации земледелия, по вопросам сельского хозяйства и истории агрономии. Лекции «Введение в агрономию». Автобиография. Отв. ред. А. Л. Курсанов. Предисловие А. В. Соколова]. 1955, 596 с.

Избранные сочинения [в трех томах. Под ред. акад. О. К. Кедрова-Зихмана]. М., Сельхозгиз.

Т. I.— Агрохимия. Изд. 4. [Предисловие О. К. Кедрова-Зихмана. Вступит. статья А. В. Петербургского «Краткий очерк жизни и деятельности академика Д. Н. Прянишникова», с. 12—28], 1952, 692 с.

Т. II.— [Азот в жизни растений и в земледелии. Обмен азотистых веществ в растении и азотистые удобрения. Люпин и другие бобовые]. 1953, 520 с.

Т. III.— [Химизация сельского хозяйства. Общие вопросы агрохимии. Фосфатные удобрения. Калийные удобрения. Известкование почвы. Навоз и торф. Вопросы химизации земледелия. Работы по отдельным вопросам земледелия]. 1953, 686 с.

Избранные сочинения в трех томах. М., Сельхозиздат, 1963. [Переиздано как юбилейное издание к столетию со дня рождения Д. Н. Прянишникова. М., «Колос», 1965].

Т. I.— Агрохимия [Вступительные статьи: Н. И. Вавилов. «Академик Димитрий Николаевич Прянишников» — К 50-летию научной деятельности; А. В. Петербургский. Краткий очерк жизни и деятельности академика Д. Н. Прянишникова», он же составитель тома]. 767 с.

Т. II.— Частное земледелие (растения полевой культуры) [9-е издание, стереотипное. Составитель Н. А. Майсурян], 708 с.

Т. III.— Общие вопросы земледелия и химизации [Общие вопросы агрономии и химизации земледелия. Технический и биологический азот. Условия использования фосфоритов. Калийные удобрения. Местные удобрения и известкование почвы. Составитель П. Г. Найдин]. 639 с.

Об удобрении полей и севооборотах. Избранные статьи [Предисловие В. П. Сотникова и И. И. Синягина, они же составители]. М., Изд-во Мин-ва сельск. хоз-ва РСФСР, 1962, 254 с.

Популярная агрохимия [Отв. ред. А. В. Петербургский. Его же предисловие, с. 3—14]. М., «Наука», 398 с.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА О Д. Н. ПРЯНИШНИКОВЕ И ЕГО ТРУДАХ *

К юбилею профессора Д. Н. Прянишникова. М., Издание редакции журнала «Вестник сельского хозяйства», 1925, 61 с.

Левицкий А. Димитрий Николаевич Прянишников. Биографический очерк.— В кн.: Прянишников Д. Н. Собрание статей и научных работ. Юбилейный сборник, т. 1. М., «Работник просвещения», 1927, с. VII—X.

Дикусар И. Г. Академик Д. Н. Прянишников и азотный вопрос в физиологии растений.— Химизация соц. земледелия, 1936, № 9, с. 15.

Якушкин И. В. Академик Д. Н. Прянишников в полеводстве.— Там же, с. 21.

Бобко Е. В. Академик Д. Н. Прянишников в борьбе за высокий урожай.— Там же, с. 24.

Голубев Б. А. Работы по фосфатам в лаборатории Д. Н. Прянишникова. (К 70-летию акад. Д. Н. Прянишникова).— Там же, с. 30.

Шестаков А. Г. О развитии вегетационного метода в лаборатории акад. Д. Н. Прянишникова.— Там же, с. 42.

Дикусар И. Г. Роль акад. Д. Н. Прянишникова в подготовке кадров агрохимиков.— Там же, с. 71.

Бобко Е. В. Академик Д. Н. Прянишников как исследователь.— Докл. ВАСХНИЛ, 1938, вып. 23—24, с. 12.

Вавилов Н. И. Академик Димитрий Николаевич Прянишников. (К 50-летию научной деятельности).— Там же, с. 3.

Кедров-Зихман О. К. Жизнь и деятельность академика Д. Н. Прянишникова.— Там же, с. 7.

Вольфкович С. И. Д. Н. Прянишников и химическая промышленность.— Химизация соц. земледелия, 1938, № 12, с. 31.

Голубев Б. А. Д. Н. Прянишников и агрохимическая наука.— Там же, с. 20.

Дикусар И. Г. Задачи советской агрохимии и академик Д. Н. Прянишников.— Там же, с. 25.

Клечковский В. М. Академик Димитрий Николаевич Прянишников. Биографический очерк (К 50-летию научной педагогической и общественной деятельности акад. Д. Н. Прянишникова).— Там же, с. 11.

Щерба С. В. Д. Н. Прянишников как организатор и руководитель опытных полей НИУИФ.— Там же, с. 37.

Ремезов Н. П. Д. Н. Прянишников и наука о почве.— Почвоведение, 1939, № 4, с. 7.

Соколов А. В. Развитие и задачи исследовательских работ в области агрономической химии в СССР (К 50-летнему юбилею акад. Д. Н. Прянишникова).— Там же, с. 16.

Указ Президиума Верховного Совета СССР о присвоении звания Героя Социалистического Труда академику Прянишникову Димитрию Николаевичу (вручение ордена Ленина и Золотой медали «Серп и молот»).— Правда, 1945, 11.VI, № 139.

То же.— Известия, 1945, 12.VI, № 136.

Власюк П. А. Основоположник радянської агрохімії. Киев, Изд-во АН УкрССР, 1946.

Академик Димитрий Николаевич Прянишников. Сборник под ред. В. С. Немчинова. (Библиография трудов акад. Д. Н. Прянишникова, с. 176–210). М., Изд. ТСХА, 1948, 267 с.

---

* Составлена Д. В. Федоровским, Ф. А. Юдиным.

Димитрий Николаевич Прянишников (1865—1948). Вступительная статья Н. А. Максимова и В. Ф. Верзилова. Библиография составлена А. П. Епифановой. М.— Л., Изд-во АН СССР, 81 с. (Материалы к библиографии ученых СССР, серия биол. наук; Физиология растений, вып. 1).
Д. Н. Прянишников. Мои воспоминания. М., Сельхозгиз, 1957, 334 с. В книге также статья А. В. Петербургского: Значение работ Д. Н. Прянишникова в развитии агрохимии, с. 3.

[К 10-летию со дня смерти Д. Н. Прянишникова]

Кедров-Зихман О. К. Жизнь и деятельность Д. Н. Прянишникова.— Удобрение и урожай, 1958, № 5, с. 32—36.
Петербургский А. В. Д. Н. Прянишников — классик советской агрохимии.— Там же, с. 37.
Дикусар И. Г. Вопросы биохимии растений в трудах Д. Н. Прянишникова.— Там же, с. 44.
Майсурян Н. А. Д. Н. Прянишников как растениевод.— Там же, с. 49.
Вольфкович С. И. Роль Д. Н. Прянишникова в строительстве советской туковой промышленности.— Там же, с. 55.
Димитрий Николаевич Прянишников. М., Изд. ТСХА, 1960, 123 с.
Петербургский А. В. Очерк жизни и деятельности Д. Н. Прянишникова. Библиография работ Д. Н. Прянишникова. Составлена Е. П. Островской.
Д. Н. Прянишников. Мои воспоминания, 2-е изд. М., Сельхозгиз, 1961, 312 с.
Петербургский А. В. Д. Н. Прянишников и его школа. М., «Советская Россия», 1962, 107 с.
Писаржевский О. Н. Прянишников [«Жизнь замечательных людей», вып. 14 (370)]. М., «Молодая гвардия», 1963, 240 с.

[К 100-летию со дня рождения Д. Н. Прянишникова]

Петербургский А. В. Юбилей Д. Н. Прянишникова.— Агрохимия, 1965, 11, с. 3.
Вольфкович С. И. Химия в творчестве Д. Н. Прянишникова.— Там же, с. 17.
Соколов А. В. Д. Н. Прянишников и развитие агрономии и агрохимии в СССР.— Там же, с. 27.
Найдин П. Г. Д. Н. Прянишников и пути интенсификации советского земледелия.— Там же, с. 34.
Турчин Ф. В. Д. Н. Прянишников и проблема азота в земледелии.— Там же, с. 42.
Журбицкий З. И. Д. Н. Прянишников как физиолог растений.— Там же, с. 49.
Майсурян Н. А. Д. Н. Прянишников — выдающийся растениевод Советского Союза.— Там же, с. 52.
Дмитренко П. А. О развитии исследований Д. Н. Прянишникова в области агрономической химии на Украине.— Там же, с. 58.
Прокошев В. Н. Д. Н. Прянишников и зерновое производство в СССР.— Там же, с. 72.
Каталымов М. В. Д. Н. Прянишников и научный институт по удобрениям и инсектофунгицидам.— Там же, с. 79.
Сазанов В. И. Д. Н. Прянишников и две знаменательные даты.— Там же, с. 89.
Прокошев В. Н. Ученый, борец, гражданин.— В кн.: Труды Соликамской опытной станции, т. 3. Пермь, Кн. изд-во, 1965, с. 5.
Беляев Г. Н. Идеи Д. Н. Прянишникова в научной работе Соликамской опытной станции.— Там же, с. 17.
Баранов П. А. По пути Прянишникова.— В кн.: Труды Пермского государственного сельскохозяйственного института им. академика Прянишникова, т. 39. Пермь, 1968, с. 5.
Калмыков К. Ф. Д. Н. Прянишников как биохимик и физиолог растений.— Там же, с. 16.

Прокошев В. Н. Прянишников как агроном-растениевод.— Там же, с. 24.
Русинов С. П. Роль Д. Н. Прянишникова в развитии высшего образования.— Там же, с. 28.
Димитрий Николаевич Прянишников. Жизнь и деятельность. (Жизненный путь и научное творчество. Воспоминания. Неопубликованные рукописи, письма, документы). Сборник, посвященный выдающемуся ученому, основателю советской школы агрохимии, крупнейшему ботанику и физиологу растений, страстному борцу за химизацию, педагогу и пропагандисту науки, Герою Социалистического Труда, академику Димитрию Николевичу Прянишникову, 1865–1948. М., «Наука», 1972, 271 с.

СОДЕРЖАНИЕ

АЗОТНОЕ ПИТАНИЕ И АЗОТНОЕ УДОБРЕНИЕ

Азот в жизни растений и в земледелии СССР 7

Обмен азотистых веществ и питание растений 197

ФОСФОРИТ И ДРУГИЕ ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Доступна ли культурным растениям фосфорная кислота фосфоритов? 217

Новый способ переработки фосфоритов 236

Какое значение имеют фосфориты при непосредственном их применении . . 239

О значении фосфатов для нашего земледелия и о расширении возможностей непосредственного применения фосфоритов 244

ЗНАЧЕНИЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ

Соликамский калий и наше земледелие 255

Отношение различных культур к калийным удобрениям и возможный спрос на калийные соли со стороны сельского хозяйства 258

К вопросу о физиологической кислотности калийных солей 270

ИЗВЕСТКОВАНИЕ ПОЧВ

К вопросу об известковании (по данным вегетационных опытов) 283

О влиянии реакции почвы на рост растений 298

МЕСТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Сравнение действия навоза и минеральных удобрений 307

Непризнанный Стассфурт 339

Люпин, фосфорит и зола как замена навоза на тощих землях 347

Торфяное удобрение и его применение на нашем севере 361

Значение торфа как материала для приготовления торфяного навоза и компоста 364

О путях повышения урожайности 367

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АГРОНОМИИ И ХИМИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Севооборот и его значение в деле поднятия наших урожаев 372

Поднятие земледелия на севере как средство облегчить кризис продовольствия и транспорта 404

Ближайшие задачи в области производства минеральных удобрений 424

К вопросу о химификации нашего земледелия 444

«Мальтус» и Россия 472
Резервный миллиард 484
Расширение посевной площади в нечерноземной полосе в связи с задачей получения в СССР высоких и устойчивых урожаев 491
Травополье и агрохимия 503
Значение химизации в деле поднятия наших урожаев в предстоящие пятилетия 515

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ АГРОХИМИИ

О нормальных смесях для песчаных и водных культур 530

ПРИЛОЖЕНИЯ

Прянишников как классик науки. А. В. Соколов, Д. В. Федоровский. . . . 545
Основные даты жизни и деятельности Д. Н. Прянишникова (составитель Ф. А. Юдин) 553
556
Комментарии и примечания (составитель Ф А. Юдин) 556
Библиография основных научных трудов Д. Н. Прянишникова по вопросам превращения азотистых веществ в растениях, питания растений и применения удобрений (составители Д. В. Федоровский, Ф. А. Юдин) 572
Основная литература о Д. Н. Прянишникове и его трудах [составители Д. В. Федоровский, Ф. А. Юдин) 587

Димитрий Николаевич Прянишников
Избранные труды

Утверждено к печати
Редакционной коллегией серии
«Классики науки»

Редактор издательства *Э. Н. Николаева*
Художественный редактор *Н. Н. Власик*
Технический редактор *В. И. Зудина*
Корректоры *Р. Алимова, Г. Сурова*

Сдано в набор 16/III 1976 г.
Подписано к печати 25/V 1976 г
Формат 70×90$^{1}/_{16}$. Бумага типографская № 1.
Усл. печ. л. 43,29. Уч.-изд. л. 43,5.
Тираж 3750. Тип. зак. 459.
Цена 3 р 40 к.

Издательство «Наука»
103717 ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
2-я типография издательства «Наука»
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

Д. Н.
ПРЯНИШНИКОВ

ИЗБРАННЫЕ
ТРУДЫ

